This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

26847

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

TA
2
.S68

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

NOTA. La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Mémoires ou Notes publiés dans le Bulletin.

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1865

SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ

26, RUE BUFFAULT, 26

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

QUAI MALAQUAIS, 15

1865

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JANVIER, FÉVRIER, MARS 1865)

N° 29

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° Installation des nouveaux membres du Bureau et du comité. (Voir le résumé de la séance du 6 janvier, page 28.)

2° *Bateaux transatlantiques* (lettre M. Ferdinand Mathieu sur les). (Voir le résumé de la séance du 6 janvier, page 41.)

3° *Procès-verbal de la frégate cuirassée la Numancia.* (Voir le résumé de la séance du 20 janvier, page 45.)

4° Frein Castellvi. (Voir le résumé des séances des 20 janvier et 3 février, pages 48 et 62.)

5° *Échappement des locomotives,* par M. Goschler. (Voir les résumés des séances des 20 janvier, 3 et 17 février, pages 51, 57 et 70.)

6° Ponts en métal, par M. Desmousseaux de Givré. (Voir les résumés des séances des 20 janvier et 17 février, pages 52 et 69.)

7° *Prix proposé* par M. Perdonnet. (Voir le résumé de la séance du 3 février, page 59.)

8° *Prix fondé par vingt-cinq membres de la Société.* (Voir les résumés des séances des 3 février et 3 mars, pages 68 et 74.)

163346

9° *Enseignement professionnel*, par M. Benoît-Duportail. (Voir le résumé de la séance du 17 février, page 70.)

10° *Nouveau procédé pour revêtir la fonte, le fer, l'acier*, etc., *de couches adhérentes et brillantes d'autres métaux*, par M. Frédéric Weil. (Voir le résumé de la séance du 3 mars, page 75.)

11° *Théorie de la trempe*, par M. Jullien. (Voir les résumés des séances des 3 et 17 mars, page 78 et 85.)

12° *Utilisation des scories dans les hauts-fourneaux*, procédés de MM. Minary et Soudry, par MM. Picard et Callon. (Voir les résumés des séances des 3 et 17 mars, pages 79 et 80.)

13° *Carton durci* (fabrication et nouvelles applications du), par M. Clémendot. (Voir le résumé de la séance du 17 mars, page 84.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de son *Histoire des écoles impériales d'arts et métiers de Liancourt, Compiègne, Beaupréau, Châlons, Angers et Aix.*

2° De M. Jordan, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude sur l'état actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siégen (Prusse).*

3° De M. Brissaud, membre de la Société, un mémoire intitulé : *Recherches sur les dispositions à adopter dans l'établissement des ponts suspendus.*

4° De M. Vidal, membre de la Société, une *Note sur des modifications au parallélogramme de Watt.*

5° De M. Benoît-Duportail, membre de la Société, une *Note sur les corporations* (Enseignement professionnel).

6° Un exemplaire d'un *Mémoire sur le frein pour chemin de fer, de M. Castellvi.*

7° De M. Colladon, membre de la Société, un exemplaire d'une *Vue photographique de l'usine à gaz de Naples.*

8° De M. Bourdon, Ferdinand, un exemplaire d'une *Note sur les Essais officiels de la frégate cuirassée la Numancia.*

9° Un exemplaire du rapport de M. Molinos, membre de la Société, *Sur la machine à voter de M. Gallaud.*

10° De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire de son *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer.*

11°. De M. de Bruignac, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur le *Nouveau système de locomotive électro-magnétique* de MM. Bellot et de Rouvre.

12° De M. Thirion, membre de la Société, un exemplaire de ses *Tablettes de l'inventeur et du breveté.*

13° De M. Jullien, membre de la Société, un mémoire sur la *Théorie des fontes et aciers.*

14° De M. Von Kaven, un exemplaire d'une *Théorie élémentaire sur la construction des ponts*, par M. Auguste Ritter.

15° De M. Macé, membre de la Société, une note sur un *Manomètre différentiel, et quelques remarques sur la presse hydraulique.*

16° De M. Malo, membre de la Société, un exemplaire de sa publication sur *Notre-Dame de Brou.*

17° De M. Léon Coignet, membre de la Société, un exemplaire de sa *Lettre à M. le Président de la Société des architectes de Paris.*

18° De l'École des ponts et chaussées, un exemplaire du *Tome 1^er^ de la septième livraison de* 1863 *de la collection de dessins distribués aux élèves.*

19° De M. Jullien, membre de la Société, des exemplaires de son *septième mémoire sur la métallurgie du fer.*

20° De M. Hauchecorne, un exemplaire de ses *Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Allemagne, de la Suisse, de la France, de la Belgique, des Pays-Bas et de la Russie, en exploitation pendant l'exercice* 1862.

21° De M. Picard, membre de la Société, une note et des dessins sur les *Machines à broyer et mélanger les scories de houille.*

22° De M. Benoît-Duportail, membre de la Société, une note sur la *Concurrence de la navigation contre les chemins de fer.*

23° De MM. Lehaître et de Mondésir, ingénieurs, un mémoire sur un *Nouveau système de charpente suspendue.*

24° De M. Eugène Flachat, membre de la Société, une note sur les

Projets d'application de la suspension métallique aux toitures à grande portée de MM. Lehaître et de Mondésir.

25° De M. Clémendot, membre de la Société, une note sur la *Fabrication du carton durci et sur les applications diverses de cette industrie.*

26° Les numéros du premier trimestre 1865 des *Nouvelles Annales de la construction.*

27° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Portefeuille économique des machines.*

28° Les numéros du premier trimestre 1865 de l'*Album pratique de l'art industriel.*

29° Les numéros du premier trimestre 1865 des *Annales télégraphiques.*

30° Les numéros du premier trimestre 1865 du journal *le Cosmos.*

31° Les numéros du premier trimestre 1865 de la revue de la *Presse scientifique.*

32° Les numéros du premier trimestre 1865 de la revue *les Mondes.*

33° Les numéros du premier trimestre 1865 du journal *The Engineer.*

34° Les numéros du premier trimestre 1865 du bulletin de la *Société d'Encouragement.*

35° Les numéros du premier trimestre 1865 du bulletin de la *Société de géographie.*

36° Les numéros du premier trimestre 1865 du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

37° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Journal l'Invention.*

38° Les numéros du premier trimestre 1865 de la *Revista obras publicas.*

39° Les numéros du premier trimestre 1865 de la *Revue des Deux-Mondes.*

40° Les numéros du premier trimestre 1865 de la *Revue contemporaine.*

41° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Journal la Célébrité.*

42° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Journal des Mines.*

43° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Journal de l'éclairage au gaz.*

44° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Journal l'Isthme de Suez.*

45° Les numéros du premier trimestre 1865 du *Journal l'Enseignement professionnel.*

46° Les numéros du premier trimestre 1865 du journal des chemins de fer.

47° Les numéros du premier trimestre 1865 du journal la *Semaine financière.*

48° Les numéros du premier trimestre du *Journal El Monitor cientifico industrial.*

49° Les numéros du premier trimestre 1865 des annales des *Conducteurs des ponts et chaussées.*

50° Les numéros des 3e, 4e et 5e livraisons de 1864 des *Annales des Mines.*

51° Les numéros de juillet et août 1864 des *Annales des ponts et chaussées.*

52° Le numéro de la 2e livraison de 1864 des *Publications administratives* de M. Louis Lazare.

53° Le numéro de décembre 1864 du bulletin de la *Société de Mulhouse.*

54° Les numéros du deuxième semestre 1864 et du premier trimestre 1865 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

Les Membres nouvellement admis comme Sociétaires sont les suivants :

Au mois de janvier :

MM. Beaupré (Eugène), présenté par MM. Callon, Frichot et Mathias Félix.

Bixio (Maurice), présenté par MM. Brüll, Guérin de Litteau et Mathieu (Henri).

Cottrau (Alfred-Henri-Joseph), présenté par MM. Alby. Godfernaux et Sieber.

Daney (François), présenté par MM. Arman, Dinan et Tresca.

Delaunay (Jules-Henri), présenté par MM. Callon, Pronnier et Rey.

Level (Émile), présenté par MM. Courras, Petiet et Salvetat.

MICHAUD (Edmond), présenté par MM. Callon, Contamin et Donnay.
NORDLING (Wilhelm), présenté par MM. Flachat, Forquenot et Petiet.
SIMONIN (Louis) présenté par MM. Chabrier, Maure et Thevenet.
THIRION (Oswald), présenté par MM. Barrault, Delannoy et Valério.

Au mois de février :

MM. AVRIL (Louis), présenté par MM. Barrault (Alexis), Loustau et Salvetat.
CHAUVEAU DES ROCHES (Arthur), présenté par MM. Cuinat, Desmousseaux de Givré et Molinos.
GOUVY (Émile), présenté, par MM. Loustau, Gouvy et Mathieu (Henri).
MAYER (Edmond-Louis), présenté par MM. Callon, Gauthey et Priestley.
ORSATTI (Camille), présenté par MM. Cuinat, Dallot et Valentin.

Au mois de mars :

MM. BOURGOUGNON (René-Anatole), présenté par MM. Bourgougnon, Lavergne et Limet.
COLLET (Charles-Henri), présenté par MM. Brüll, Guérin de Litteau et Vidal.
DENFER (Jules-François), présenté par MM. Callon, Darblay et Ser.
GUEBHARD (Alfred), présenté par MM. Delannoy, Perdonnet et Vuillemin.
PERREY (Édouard), présenté par MM. Pronnier, Rey et Trélat.
VANDER ELST (Lucien), présenté par MM. Laurens, Thomas et Valentin.

Comme Membre-Associé :

M. LE PRÉSIDENT de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

LISTE GÉNÉRALE DES SOCIÉTAIRES

1865.

Membres du Bureau.

Président :

M. SALVETAT ✻, à Sèvres (Manufacture impériale).

Vice-Présidents :

MM. CALLON (Ch.), ✻, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
NOZO (Alfred) ✻ ✻, boulevard Magenta, 169.
FORQUENOT ✻, rue du Louvre, 6.
LOVE, rue Blanche, 99.

Secrétaires :

MM. TRONQUOY (Camille), faubourg Saint-Denis, 43.
DONNAY, rue Godot-de-Mauroy, 21.
RICHOUX (Ch.), rue Marie-Antoinette, 1, à Montmartre.
BRÜLL, rue de Moscou, 3.

Trésorier :

M. LOUSTAU (G.) ✻, rue de Dunkerque, 20.

Membres du Comité.

MM. PETIET (J.) O ✻ ✠ ✻ ✻, rue de Dunkerque, 20.
VUIGNER (Émile) O, ✻, C. ✻, rue du Fauboug-Saint-Denis, 146.
ALCAN (Michel) ✻, rue faubourg Poissonnière, 98.
FLACHAT (Eugène) O. ✻ ✻, rue de Londres, 49.
MOLINOS (Léon) ✻, rue Blanche, 46.
FOURNEYRON ✻, rue Saint-Georges, 52.
PELIGOT (Henri), rue Bleue, 5.
YVON-VILLARCEAU ✻ ✻, à l'Observatoire.
GOSCHLER, rue Lavoisier, 1.
ARSON (Alexandre), rue de Bourgogne, 40.

MM. LIMET, rue Béranger, 4.
ALQUIÉ (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.
MAYER (Ernest) ✱, rue Pigalle, 26.
VUILLEMIN (Louis-Charles) ✱, rue Réaumur, 43.
CHOBRZYNSKI ✱, boulevard Magenta, 167.
DUBIED (Henri-Édouard), rue de la Tour, 34 à Passy.
THOMAS (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
BENOIST DU PORTAIL (Armand-Camille), r. Benard, 41, à Batignolles.
BARRAULT (Alexis) ✱, rue Moncey, 9.
LAURENT (Charles) ✱, rue de Chabrol, 35.

Présidents honoraires.

MM. PERDONNET (A.) C. ✱ G. ✱ C. ✱ ✱ ✱, rue de Calais, 16.
MORIN (le général), G. ✱ ✱ ✱ ✱, directeur du Conservatoire Impérial des arts et métiers, rue Saint-Martin, 292.

Membres honoraires.

MM. BÉLANGER, O. ✱, rue d'Orléans, 15, à Neuilly.
PONCELET (le général) G. ✱ ✱ ✱, rue de Vaugirard, 58.

Membres sociétaires.

MM. ABOILARD (Auguste-François), directeur de charbonnage, à Corbeil (Seine-et-Oise).
ACHARD, rue de Provence, 72.
AGUDIO (Thomas) ✱, rue de l'Arsenal, 17, à Turin (Piémont).
AIVAS (Michel), à Suez (Égypte).
ALBARET, constructeur, à Liancourt (Oise).
ALBARET (Eugène), rue d'Orléans-des-Batignolles, 92.
ALBY (Joseph), à Turin (Piémont).
ALCAN (Michel) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 98.
ALQUIÉ (Auguste-François) ✱, rue de Dunkerque, 37.
AMELINE (Auguste-Eugène), rue Truffaut, 52, à Batignolles.
ANDRY, à Boussu, près Mons (Belgique).
ANSART (Ernest), calle de la Traversia de Sainte-Mateo, 18, à Madrid.
APPERT (Léon), rue Royale, 6, à la Grande-Villette.
ARCANGUES (D') (Paul-Eugène), rue de Dunkerque, 18.
ARMAN (Lucien) ✱, constructeur, à Bordeaux (Gironde).
ARMAND (Eugène), à Moscou (Russie).
ARMENGAUD aîné ✱, rue Saint-Sébastien, 45.
ARMENGAUD jeune ✱, boulevard de Strasbourg, 23.
ARNAULT (Marc-Emmanuel), à Saintes (Charente-Inférieure).

MM. Arson (Alexandre), rue de Bourgogne, 40.
Asselin (Eugène), rue des Poissonniers, 3 (Saint-Denis).
Avril (Louis), rue Saint-Louis, 80.
Artus (Jules), boulevard Beaumarchais, 20.
Badois (Edmond), rue de la Tour, 127, à Passy.
Baillet (Gustave), maison Joly, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Balestrini, rue de Rivoli, 172.
Banderali, à Amiens (Somme).
Bara, rue du Colombier, 5, aux Prés-Saint-Gervais.
Barbe (Paul), faubourg Saint-Jean, 7, à Nancy (Meurthe).
Barberot (Félix) ✻ ✻, Grande Rue, 21, à Batignolles.
Baret (Pierre-Stéphane-Léopold), 7, Marlborough-Terrau, Carter Saint-Greenheyer, Manchester.
Barrault (Alexis) ✻, rue Moncey, 9.
Barrault (Émile), boulevard Saint-Martin, 33.
Barroux (Léon), à Dieuzé (Meurthe).
Barthélemy (Henry), quai Voltaire, 3.
Baudoin ✻, avenue de Neuilly, 115.
Baumal (Henri), à Sotteville-lès-Rouen (Seine-Inférieure).
Beaucerf ✻, rue Rochechouart, 47.
Beaupré (Eugène), à Pont-Rémy (Somme).
Beaussobre (de) (Georges-Emmanuel), à Strasbourg (Bas-Rhin).
Bélanger (Charles-Eugène), à Fresne-sur-Escaut (Nord).
Bellier (Adolphe), au chemin de fer du Midi, à Bordeaux (Gironde).
Belpaire (Alfred), ingénieur en chef à Bruxelles (Belgique).
Benoist du Portail (Armand-Camille) r. Benard, 41, à Batignolles.
Benoist d'Azy (Paul), à Fourchambault (Nièvre).
Berger (Jean-Georges), chez M. André, à Thann (Haut-Rhin).
Bergeron, rue du Grand-Chêne, 8, à Lausanne (Suisse).
Bernard, chef de la section belge du chemin de fer du Nord, à Namur (Belgique).
Bertholomey (Eugène), avenue de Launay, 15, à Nantes.
Berthot (Pierre), rue des Bons-Enfants, 19.
Berton (Théodore), rue Mademoiselle, 16, à Versailles (Seine-et-O.).
Bertot (Henri), rue Neuve-Bérant, 6, à Vincennes.
Bertrand (Lucien), à Séville (Espagne).
Bertrand (Charles-Pierre), boulevard Beaumarchais, 69.
Beugniot ✻, maison Kœchlin, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Bévan de Massi (Henri), boulevard Malesherbes, 21 bis.
Bianchi ✻ ✻, rue des Postes, 47.
Binder (Charles-Jules), boulevard Hausmann, 112.
Bippert, rue des Petites-Écuries, 42.
Birlé (Albert), à Milan (Italie).
Biver (Hector) ✻, rue Saint-Guillaume, 3.

MM. Bixio (Maurice), rue Jacob, 26.
Blanc-Garin, boulevard Bonne-Nouvelle, 35.
Blanche (Auguste), quai Impérial, 3, à Puteaux.
Blanleuil, à la Couronne, près Angoulême (Charente).
Blard (Alexandre-Louis), rue de Rivoli, 226.
Blonay (de) (Henri), directeur des ateliers de construction de la Reichshoffen, près Niederbronn (Bas-Rhin).
Blondeau (Paul-François), à l'Ardoisière Saint-Gilbert, à Fumay (Ardennes).
Blot (Léon), rue d'Amsterdam, 54.
Blutel, à Troyes (Aube).
Boca (Paul-Alcide), rue du Mail, 13.
Bois (Victor), rue de Turin, 15.
Boitard (Charles-Alfred), à Maromme (Seine-Inférieure).
Boivin (Émile), rue de Flandre, 145, à la Villette.
Bonnaterre (Joseph), rue Gaillon, 11.
Bonnet (Victor), à Beaumont (Oise).
Bonnet (Désiré), à Toulouse (Haute-Garonne).
Bonnet (Auguste-Félix), rue de Sèvres, 8.
Borel (Paul), rue Taitbout, 82.
Borgella (Édouard), rue de Richelieu, 102.
Bossi (de) à Riom (Puy-de-Dôme).
Bossu, à la Cristallerie de Saint-Louis, par Goetzembruck (Moselle).
Boucard (Alexandre-André), rue de la Paix, 3.
Boudard (Casimir), à Dangu, par Gisors (Eure).
Boudard (Félix-Arthur), rue de la Vallée, 35, à Amiens (Somme).
Boudent (Ernest-Gabriel), rue Saint-Sauveur, 18.
Bougère (Laurent), à Angers (Maine-et-Loire).
Bouilhet (Henri-Charles), rue de Bondy, 56.
Bouillon (Augustin), rue de Chabrol, 33.
Bouquié, rue Saint-Georges, 43.
Bourcard (Henri), à Guebwiller (Haut-Rhin).
Bourdon ✻, rue Notre-Dame-des-Victoires, 28.
Bourdon (Eugène) ✻, rue du Faubourg-du-Temple, 74.
Bourgougnon (Étienne), rue de la Victoire, 43.
Bourgougnon (René), rue Lemercier, 44 (Batignolles).
Bourgeat (Alphonse), à Rochefort-sur-mer (Charente-Inférieure).
Bournique, quai prolongé de la Gare, 29, Ivry.
Bourset, gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Boutigny d'Évreux ✻, chimiste, à la Chartre-sur-le-Loir (Sarthe).
Boutmy, rue Rambouillet, 2.
Boutté (Louis), rue Sainte-Placide, 49.
Branville (de) (Paul), boulevard Montparnasse, 144.
Brauer (François-Charles), à Graffenstaden (Bas-Rhin).

MM. Breguet ✱, quai de l'Horloge, 39.
Brialmont, aux établissements de M. John Cockerill, à Seraing (Belgique).
Bricogne (Charles) ✱, rue du Faubourg-Poissonnière, 50.
Bridel (Gustave), à Bienne (Suisse).
Brissaud ✱, rue de Rennes, 17.
Brocchi (Auguste), rue Racine, 30.
Bronne, quai de Fragnée, 392, à Liége (Belgique).
Brouilhet (Émile), à Mèze (Hérault).
Bruère, à Signy-le-Petit (Ardennes).
Bruignac (Duroy de) (Albert), Square Clary, 3.
Brunet (de), à St-Sébastien Guipuzcoa (Espagne).
Brüll, rue de Moscou, 3.
Brunier, rue Neuve-Saint-Patrice, 6, à Rouen (Seine-Inférieure).
Brustlein (H.-Aimé), à Almemecar, province de Malaga (Espagne).
Buddicom, rue de Lille, 97.
Bulot (Hippolyte), aux fonderies de Graville (Hâvre).
Bureau, rue Nollet, 54 (Batignolles).
Burel (Eugène), rue de l'Isly, 13.
Burt, rue Caumartin, 54.
Busschop (Émile), boulevard des Filles-du-Calvaire, 4.
Bussière (de), à Graffenstaden (Bas-Rhin).
Cabany (Armand), à Gand (Belgique).
Cahen (Eugène), rue des Petits-Hôtels, 3.
Cail (Émile), quai de Billy, 48.
Caillé (Jules-Charles), rue Guy-de-la-Brosse, 11.
Caillet, avenue d'Antin, 7.
Caillot-Pinart, rue du Faubourg-Saint-Martin, 140.
Caisso (Marin), aux ateliers du chemin de fer, rue de la Santé prolongée, à Batignolles.
Calabre (Sébastien), rue de Jessaint, 8, à la Chapelle.
Calla ✱, rue Lafayette, 105.
Callon (Charles) ✱, rue Royale-Saint-Antoine, 16.
Calrow, avenue Parmentier, 15.
Cambier, place d'armes, à Luxembourg (Grand-Duché).
Capdevielle, chez MM. Maze et Voisine, rue des Vertus, 70, à la Villette.
Capuccio (Gaetano), à Turin (Piémont).
Cargenat (Antoine), à la gare du chemin de fer du Nord, Paris.
Carimantrand (Jules), rue Germain-Pilon, 1.
Caron (Amédée), rue Garancière, 7.
Carpentier (Alphonse), rue de Fleurus, 37.
Castel (Émile) ✱ ✱, place Roubaix, 24.
Castor ✱, à Mantes (Seine-et-Oise).

MM. Cauvet (Jacques-Aubin), rue Neuve-des-Mathurins, 73.
Cavé, (François) ✱, place Lafayette, 114.
Cavé (Amable), avenue Montaigne, 51.
Cazalis de Fondouce, à Montpellier (Hérault).
Cazaux, à Suez (Egypte).
Cazes (Edwards-Adrien), à Madrid (Espagne).
Cernuschi, boulevard Malesherbes, 10.
Chabrier (Ernest), rue Saint-Lazare, 99.
Championnière, à Monlignon, près Montmorency (Seine-et-Oise).
Champouillon, rue de Provence, 72.
Chancerel (Charles-Antoine), quai Valmy, 231.
Chareaudeau (Jules), rue de l'Arcade, 18.
Charbonnier, rue de Bréa, 22.
Chapelle ✱, boulevard Beaumarchais, 102.
Chaper ✱, rue de Provence, 58.
Charpentier (Joseph-Ferdinand), rue des Lions-Saint-Paul, 5.
Chauveau des Roches (Arthur), rue de Tournon, 16.
Chauvel (Émile), à Navarre, par Évreux (Eure).
Chavès (Léopold), inspecteur du service des eaux au chemin de fer du Nord, rue Paradis-Poissonnière, 12.
Chéronnet (Victor), avenue de Saint-Denis, 65, Passy (porte Maillot).
Chevandier de Valdrome (Eugène-Jean), rue de la Victoire, 22.
Chobrzynski (Jean-Pierre-Charles) ✱, boulevard Magenta, 167.
Chollet (Louis), à Belfort (Haut-Rhin).
Chuwab (Charles), faubourg Saint-Denis, 39.
Ckiandi (Alexandre-Henri), cours Bonaparte, 80, Marseille (Bouches-du-Rhône).
Clémandot (Louis), directeur de la cristallerie de Clichy-la-Garenne.
Clément-Desormes, rue Bourbon, à Lyon (Rhône).
Clervaux (de) (Paul), directeur des usines de Torteron (Cher).
Coignet, (François), rue Bleue, 7.
Coindet (Eugène), rue de l'Hôtel-de-Ville, 3, au Havre (Seine-Inférieure).
Colladon, à Genève (Suisse).
Collet (Charles-Henri), calle Leganitos, 54, à Madrid (Espagne).
Comte (Charles-Adolphe), rue Laffitte, 17.
Conrard, Grande Rue, 16, à Foug-lès-Toul (Meurthe).
Consolat, boulevard Malesherbes, 68.
Contamin (Victor), rue du Faubourg-Saint-Martin, 148 bis.
Coquerel (Paul), boulevard des Batignolles, 22.
Cordier, rue Saint-Lazare, 104.
Cornaille (Alfred), à Cambrai (Nord).
Cornut-Gentille (Louis), boulevard Montmartre, 8.
Cosyns, à Couillet, par Charleroi (Belgique).

MM. Cottrau (Alfred-Henri-Joseph), à Turin (Italie).
Cournerie (Amédée-Barthélemy), à Cherbourg (Manche).
Courras (Philippe), boulevard des Batignolles, 52.
Courtépée (Laurent), rue des Francs-Bourgeois, 5.
Courtin (Amédée-Augustin), rue du Pont Louis-Philippe, 9.
Courtines (Jacques) ✱, à Rueil (Seine-et-Oise).
Couture (Jules), au chemin de fer du Nord, rue de Dunkerque, 18.
Crépin (Christian), boulevard Magenta, 161.
Crespin (Auguste), rue d'Antin, 20, aux Batignolles.
Crespin (Arthur-Auguste), rue Rochechouard, 69.
Crétin ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 182.
Cuinat (Charles), chez M. Gouin (aux Batignolles).
Daguerre d'Ospital (Léon), sous-chef de section au chemin de fer de Saragosse, à Madrid (Espagne).
Daguin (Ernest), rue Geoffroy-Marie, 5.
Dailly (Gaspard-Adolphe), rue Pigalle, 6.
Dallot (Auguste), rue Béranger, 17.
Dambricourt (Auguste), à Vezernes par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Daney (François), place Sainte-Croix, à Bordeaux (Gironde).
Daret-Derville, à Séville (Espagne).
Darblay (Paul), à Corbeil (Seine-et-Oise).
Daveluy (Marie-Alfred-Alphonse), rue d'Hauteville, 33.
David (Augustin), rue des Marais, 37.
David (Girard), rue Doudeauville, 14, à la Chapelle.
Debauge (Jean-Louis) ✱, rue de Tournon, 8.
Debié, à la papeterie de la Croix-Blanche, à Thiers (Puy-de-Dôme).
Debonnefoy de Montbazin, rue Madame, 6.
Decaux (Charles-Auguste) ✱, boulevard Saint-Jacques, 84.
De Coene (Jules), à Rouen (Seine-Inférieure).
Decomberousse (Charles), rue des Martyrs, 47.
De Dion (Henri) ✱, Cité d'Antin, 8.
Deffosse (Étienne-Alphonse), au chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Valence (Drôme).
Degousée (Edmond), rue Chabrol, 35.
Delannay, agent-voyer en chef, au Mans (Sarthe).
Delannoy (François-Albert), ✱ C ✱, à la gare du chemin de fer d'Orsay, à Montrouge.
Delaporte (Louis-Achille), à l'usine de Montataire (Oise).
Delattre, rue d'Orléans, 32 (Batignolles).
Delaunay (Jules-Henri), à Mérida (Espagne).
Delebecque, rue Chabrol, 34.
Deligny (Simon-Victor) ✱, vieille route de Neuilly, 15.
Delom (Florentin), rue Léonie, 14.
Delon (Ernest-Louis), rue Saint-Honoré, 259.

MM. Delonchant, rue Saint-Pierre, 3, à Sèvres (Seine-et-Oise).
Delpech (Ferdinand), Chaussée d'Antin, 51.
Demanest (Edmond), rue Crétet, 6.
Demeule (Gustave), à Elbeuf, rue de la Bague, 1 (Seine-Inférieure).
Denfer (Jules), rue des Rosiers, 2 *bis*.
Denise (Lucien), passage Violet, 12.
Deniel ✱, à Troyes (Aube).
Deodor (Léon), rue du Chevaleret, 51.
Depérais (Charles), Grato de Palazzo Cicarelli, à Naples (Italie).
Deroide (Auguste), rue du Théâtre, 79, à Grenelle.
Derennes (Jean-Baptiste-Ernest), avenue Parmentier, 10.
Desbrière, rue de Provence, 68.
Desforges (Louis-Alphonse), au chemin de fer de Mulhouse (Haut-Rhin).
Desgoffe (Auguste-Jules), rue de Rennes, 3.
Desgrange, ingénieur en chef du chemin de fer du Sud, Wollzeil, 783, à Vienne (Autriche).
Desmasures (Camille) ✱, rue Neuve-Saint-Augustin, 22.
Desmousseaux de Givré (François-Xavier-Émile), rue de Lille, 79.
Desnos (Charles), Boulevard Saint-Martin, 29.
Després (Gustave), rue de l'Arcade, 65.
Devaureix (Jules), rue des Couronnes, 2, à la Chapelle-Saint-Denis.
Devers (Eugène-Charles), rue des Filatiers, 36, à Toulouse (Haute-Garonne).
Deville (Anatole), rue de Lyon, 39.
D'Hamelincourt (Éloi-Joseph), rue Saleneuve, 29 (Batignolles).
Diard (Henri-Pierre-Alfred), boulevard Beaumarchais, 47.
Didierjean (Eugène), à Saint-Louis (Moselle).
Dieudonné (Camille-Henri-Marie), boulevard Magenta, 165.
Dinan, allées Marines, à Bayonne (Basses-Pyrénées).
Dombrowski (Thomas-Adolphe), à Metz (Moselle).
Donnay (Charles), chef du bureau des études au chemin de fer du Nord, rue Godot-de-Mauroy, 21.
Donzelle (Joseph-Arthur), Foolseah factory near Bhugulssore, à Calcutta (Indes-Orientales).
Dorré, à la Gare du chemin de fer de l'Est, rue de Strasbourg.
Doublet, rue de Sèvres, 4, à Boulogne-sur-Seine.
Dru (Saint-Just-Antoine), rue Fénélon, 11.
Dubied (Henri-Edouard), rue de la Tour, 34, Passy.
Dubois, rue de l'Annonciade, 30, à Lyon (Rhône).
Dufournel (Alphonse-Théodore), à Gray (Haute-Saône).
Dugourd, à Alais (Gard).
Dujour (Nicolas-Alexis), rue du Faubourg Saint-Honoré, 14.
Duméry, rue de Monceau, 8.

MM. Du Pan (Louis), à Soissons (Aisne).
Du Pré ✱, ingénieur en chef honoraire des ponts et chaussées, à Bruxelles (Belgique).
Durenne ✱, rue de la Victoire, 68.
Durenne (Antoine) ✱, rue de la Verrerie, 30.
Durocher (Constant), rue de la Verrerie, 83.
Duval (Edmond), aux forges de Paimpont, près Plélan (Ille-et-Vilaine).
Duval (Raoul), place Vendôme, 16.
Eiffel (Gustave), rue de Saint-Pétersbourg, 14.
Elwell, rue Tronchet, 5.
Engelmann, en Russie.
Ermel (Frédéric), rue de Valenciennes, 10.
Etienne (Antoine), au chemin de fer de Séville à Cordoue, calle de las Palmas 77, à Séville (Espagne).
Euverte (Jules), à Terre-Noire (Loire).
Evans (Francisco), 103, Stale Street-Boston (Etats-Unis).
Évrard (Augustin), rue Saint-Samson, 28, à Douai (Nord).
Falguerolles (Eugène), à Séville (Espagne).
Faliès (Jacques-Alfred), Chaussée-du-Maine, 4.
Farcot (Joseph), au port Saint-Ouen (Banlieue).
Farcot père ✱, au port Saint-Ouen (Banlieue).
Farcot (Emmanuel), au port Saint-Ouen (Banlieue).
Farcot (Abel), au port Saint-Ouen (Banlieue).
Faucon (Charles), à Suez (Égypte).
Fauconnier, rue de Belleville, 25 (Paris-Charonne).
Faure-Beaulieu, rue Meslay, 25.
Febvre (Armand), avenue Montaigne, 48.
Fell (John-Barraclough), rue de Rivoli, hôtel Meurice.
Fellot (Jean), quai de la Grave, 8, à Bordeaux (Gironde).
Fernex (de), rue Léonie, 14.
Fernique (Albert), rue de la Prison, 4, à Saint-Quentin (Aisne).
Férot ✱, rue Moncey, 17.
Fèvre (Léon-Jean-Baptiste), rue et cité Turgot, 5 et 7.
Fèvre (Henri), boulevard Malesherbes. 72.
Fiévet (Ernest-Emile), rue Saint-Louis, 22, au Marais.
Flachat (E.) O. ✱ ✱, rue de Londres, 49, et à Asnières (Seine).
Flachat (Adolphe), rue Caumartin, 70.
Flachat (Yvan), rue Lavoisier, 1.
Flaud ✱, rue Jean-Goujon, 27.
Flavieu (Émile-Georges) rue du Bouloi, 22.
Fonbonne (de) (Charles-Alexandre), chaussée des Martyrs, 23.
Fontenay (de) (Anselme), rue du Cherche-Midi, 36.
Fontenay (Toni), rue des Récollets, 1, à Grenoble (Isère).
Fontenay (de) (Eugène) ✱, à Baccarat (Meurthe).

MM. Forey (Miltiade), à Montluçon (Allier).
Forquenot (Victor) ✱, rue du Louvre, 6.
Fortin-Herrmann (Louis), boulevard Montparnasse, 71.
Fortin-Herrmann (Emile), boulevard Montparnasse, 71.
Foucault (Léon) ✱, rue d'Assas, 34.
Foucou, rue de Martignac, 5.
Fourneyron ✱, rue Saint-Georges, 52.
Fournier, rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Fournier (A.), boulevard du Chemin de fer, 36, à Orléans (Loiret).
Fresnaye (Adrien-Aimé), à Marenla, par Montreuil-sur-Mer (Pas-de-Calais).
Frichot, à Pont-Rémy (Somme).
Fromantin (Jean-Baptiste), rue Bonaparte, 24.
Fromont, au chemin de fer de l'Est, à Vesoul (Haute-Saône).
Froyer, à Castillon (Gironde).
Fuchet (Pierre-Paul), rue Mayet, 4.
Gaget, rue de Provence, 13.
Gallaud (Charles), boulevard Pigalle, 48.
Gallois (Charles), chez M. Chauvel, à Navarre, près Évreux (Eure).
Gandillot (Jules), rue Turgot, 15.
Ganneron, (Edmond) ✱, quai de Billy, 56.
Garnier (Paul) ✱, rue Taitbout, 16.
Gaudet ✱, à Rive-de-Gier (Loire).
Gaudry (Jules), rue de Dunkerque, 24.
Gaupillat (Ernest), au bas Meudon (Seine-et-Oise).
Gauthey (Émile-Mac-Marius), rue de l'Abbaye, 14.
Gaveau (Alfred-Frédéric), chez M. Facundo Chalbaud, négociant, à Bilbao, près Bayonne (Espagne).
Gayrard (Gustave) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 222.
Génissieu, rue Saint-Honoré, 155.
Gentilhomme ✱, quai de la Tournelle, 45.
Geoffroy (Octave), rue Marcadet, 8, à Montmartre.
Gerber (Eug.), rue Sans-Souci, 12, à Ixelles-lez-Bruxelles (Belgique).
Germain, chaussée Ménilmontant, 24.
Germon (Alexis), ingénieur du matériel et de la traction au chemin de fer du nord de l'Espagne, à Valladolid (Espagne).
Gérondeau (Henri-Jean-Baptiste), à Voves (Eure-et-Loir).
Geyler, (Alfred-Édouard), rue Blanche, 95.
Gibon (Alexandre-Louis), à Commentry (Allier).
Giffard ✱, rue Marignan, 14.
Gil (Claudio), à Barcelonne (Espagne).
Gingins (de) (Olivier), rue d'Aumale, 7.
Girard, faubourg Poissonnière, 35.
Gislain, rue Lepelletier, 35.

MM. Godfernaux, boulevard de la Madeleine, 17.
Goschler (Charles), rue Lavoisier, 1.
Gosset (Jules-Constant), avenue Casimir, à Asnières (Seine).
Gottschalk, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Gouin (Ernest) O ✻, rue de la Ville-l'Évêque, 44.
Goumet, rue du Temple, 118.
Goutaudier (Joseph), à Séville (Espagne).
Gouvy (Alexandre), aux forges de Hombourg, près Saint-Avold (Moselle).
Gouvy (Émile) à Goffontaine (Prusse-Rhénane).
Grenier (Achille) ✻, ingénieur en chef au chemin de fer Guillaume de Luxembourg (Grand-Duché).
Grièges (de) (Louis-Maurice), rue Joubert, 39.
Guébhard (Alfred), rue Martel, 8.
Guérard (Paul), au chemin de fer du Nord, à Amiens (Somme).
Guérin (Édouard) rue de Rivoli, 96,
Guérin de Litteau (Edgar) ✻ ✻, rue d'Antin, 9.
Guettier, rue de Ménilmontant, 74.
Guibal (Théophile) ✻, à l'École des Mines de Mons (Belgique).
Guillaume (Charles) ✻, au chemin de fer du Midi, à Castres (Tarn).
Guillaume (Henri), rue du Château-d'Eau, 58.
Guillemin (Étienne), à la Perraudette, près Lausanne (Suisse).
Guillemin, usine de Cosamène, à Besançon (Doubs).
Guillet (Félix-François), rue des Martyrs, 17.
Guillon (Jean-Louis) ✻, à Amiens (Somme).
Guillot (Gustave) ✻, ingénieur du matériel du chemin de fer Victor-Emmanuel, à Turin (Piémont).
Guntz (Charles), à Haguenau (Bas-Rhin).
Hallié (François-Ernest), à Fermo (Italie).
Hallopeau (Paul-François-Alf.), rue Chabrol, 45.
Hamers, rue du Guignier, 1, à Belleville.
Hamoir ✻, à Maubeuge (Nord).
Henri-Lepaute, fils (Édouard-Léon), rue de Rivoli, 146.
Hermary (Philippe), à Moulle, par Saint-Omer (Pas-de-Calais).
Herpin (Louis), Grande-Place, 41, à Saint-Quentin (Aisne).
Hervey-Picard (Paul-Philippe), rue Nollet, 54, Batignolles.
Hervier (Alfred-Charles), rue de la Fidélité, 10.
Heurtebise (Paul), chez M. Doré, maître de forges, rue Napoléon, 24, au Mans (Sarthe).
Honoré (Frédéric), rue de Verneuil, 30.
Houel ✻, quai de Billy, 48.
Houlbrat (Abel), rue du Havre, 12.
Hovine, rue de Lyon, 61.

MM. Hubert, rue Blanche, 69.
Hubert (William) ✱, boulevard Malesherbes, 67.
Huet (Alfred), rue Blanche, 95.
Humblot (Nicolas-Léon), rue des Clercs, à Metz (Moselle).
Hurcourt (d'), rue des Tournelles, 47.
Imbs (Alexis-Joseph-Alb.), à Lutzelhausen, par Schirmeck (Vosges).
Jacquesson (Eugène), à Chalons (Marne).
Jacquin, rue de l'Église, 20, à Batignolles.
Jarry, à Saint-Pares-lès-Vandes (Aube).
Javal (Pierre-Jules-Émile), place Dauphine, 24.
Jequier (Henri-Jean), à Santiago (Chili).
Jolly (César), à Argenteuil (Seine-et-Oise).
Joly (de) (Théodore), rue de Grenelle-Saint-Germain, 121 *bis*.
Jordan (Samson), rue de Provence, 14.
Jouannin (Achille), rue de Clichy, 78.
Jousselin (Paul), place Dauphine, 13.
Joyant (Charles-Paul-Abel), à Mulhouse (Haut-Rhin).
Jubecourt (de) (Barthélémy), à Vaudrevanges, près Sarrelouis (Prusse Rhénane).
Jucquiau, inspecteur de la voie au chemin de fer d'Orléans, à Poitiers (Vienne).
Jullien (Charles-Édouard), rue des Tournelles, 47.
Juteau (Émile-Désiré), rue Saint-Honoré, 64.
Karcher, (Édouard), à Sarrebruck (Prusse-Rhénane).
Knab (Clovis), boulevard Magenta, 190.
Komarnicki, rue Fontaine-Saint-Georges, 28.
Kreglinger, boulevard du Jardin-Botanique, 53, à Bruxelles (Belgique).
Laborie (de) (Alexandre), boulevard de Sébastopol, 27.
Laboulaye ✱, rue de Madame, 40.
Labouverie (Prosper), à Bouillon, province de Luxembourg (Grand-Duché).
Lacombe ✱, rue de la Rochefoucaud, 46.
Lacroze, rue de Rivoli, 13.
Lafon (Adrien), en Moldavie.
Lahure (Paul-Camille), à Alcolea, province de Séville (Espagne).
Lainé, rue du Faubourg-du-Temple, 59.
Laligant (Paul), à Maresquel, par Campagne-les-Hesdin (Pas-de-C.)
Lalo, rue Saint-André-des-Arts, 45.
Lambert (Ernest), à Vuillafonds, par Ornans (Doubs).
Lancel (Angustin-Jules), à Tergnier (Aisne).
Langlois (Auguste), rue Ménilmontant, 3.
Langlois (Charles), rue Joubert, 10.
Langlois (Ernest-Hippolyte), à Fermo (Italie).

MM. Larpent, à Utrecht (Pays-Bas).
Larochette (de) (Gérôme) ✱, quai de la Charité, 27, à Lyon.
Lartigue (Pierre-Gustave), à Séville (Espagne).
La Salle (Auguste), à Kriens, près Lucerne (Suisse).
Lasseron (Charles), rue Saint-Lazare, 48.
Lasvigne (Louis), rue Caroline, 11, Batignolles.
Laurens (Antoine-Louis) ✱, rue Saint-Honoré, 368.
Laurent (Victor), à Plancher-les-Mines, près et par Champagney (Haute-Saône).
Laurent (Lambert), gare de Ségur, à Bordeaux (Gironde).
Laurent (Charles) ✱, rue de Chabrol, 35.
Laurenzano (Nicolas-Marie), strada Egiziaca, à Pizzofalcone, 59 (Naples).
Lavalley ✱, avenue de l'Impératrice, 49.
Lavergne (Ludovic), boulevard Clichy, 6, place Blanche.
Lebargy, à Amiens (Somme).
Lebon (Eugène), rue Drouot, 11.
Le Brun (Louis-Gabriel), rue de Belzunce, 10.
Le Brun (Raymond-Louis), puerta del Sol, 14, à Madrid (Espagne).
Lecherf, à Fives, près Lille (Nord).
Le Cler (Achille), rue de l'Abbaye, 12.
Leclerc (Émile), rue Lemercier, 32, (Batignolles).
Lecœuvre (Paul), rue Saint-Louis, 83.
Leconte ✱, rue de Bercy, 4.
Lecorbellier (George-G.), rue de Londres, 51.
Le Cordier, à Caen (Calvados).
Lefèvre (Prosper), rue Lemercier, 31 (Batignolles).
Lefèvre (Edmond-Ferdinand), à Mulhouse (Haut-Rhin).
Lefrançois, rue Rocroy, 23.
Legavriand (Paul-Floride), à Lille (Nord).
Lehaitre (Paul-Léon), rue de Beaune, 3.
L'homme (Paul-Émile), rue Blanche, 69.
Le Laurin (Jules), rue de Rivoli, 50.
Léloup (Joseph-Benoît), à Montluçon (Allier).
Leloup (Félix), 7, Gaspar del Pino, à Cadix (Espagne).
Lemoinne (Lucien) ✱, rue Notre-Dame, 18, à Passy.
Lemonnier (Théodore), aux forges de Terre-Noire (Loire).
Lemonon (Ernest), à Arc-en-Barrois (Haute-Marne).
Lencauchez, rue de Strasbourg, 17.
Lepeudry (Paul-Noel), rue Montholon, 28.
Lepeudry, rue Montholon, 28.
Le Roy (Amable), place de la Gare, 27, à Nancy (Meurthe).
Le Roy Desclosages (Paul-Charles), rue Taitbout, 76.
Letellier, rue Neuve-des-Martyrs, 10.

MM. LETESTU, rue du Temple, 118.
LEVAT (Gustave) ✱, à Arles (Bouches-du-Rhône).
LEVEL (Émile), rue Fontaine-Saint-Georges, 32.
LÉVI-ALVARÈS (Albert,) à Las Correderas Provincia de Jean (Espagne).
LÉVY (Jules), rue des Écluses Saint-Martin, 23.
LÉVY (Emmanuel), à Renteria-Guipuzcoa (Espagne).
LEYGUE (Pierre-Auguste-Léon), à Amiens (Somme).
LIMET (Hippolyte), rue Béranger, 4.
LIMOGE (DE) (Louis-Auguste), rue Neuve de la Villardière, 30 (Guillotière), à Lyon (Rhône).
LIPPMANN (Édouard), rue de Rivoli, 51.
LITSCHFOUSSE (Léon), Calle de Barquillo, 32, à Madrid (Espagne).
LOISEAU (Désiré), rue de la Prévoyance, à Vincennes.
LOISEL, O ✱, rue Tronchet, 2.
LONGRAIRE (Léopold-François), à Bologne (Italie).
LOPEZ-BUSTAMANTE (Antoine), à Santander (Espagne).
LOUSTAU (Gustave) ✱, rue de Dunkerque, 20.
LOVE (Georges-Henri), rue Blanche, 99.
LOYD, chez M. Gouin, avenue de Clichy, à Batignolles.
MACÉ, rue Amelot, 116.
MACHECOURT, à Decize (Nièvre).
MAIRE (Armand), boulevard Malesherbes, 119.
MALDANT, rue Lormont, 2 et 5, à Bordeaux (Gironde).
MALLET (Anatole), rue Blanche, 80.
MALO (Léon), aux mines de Seyssel, à Pyrimont-Seyssel (Ain).
MANBY (Ch.), 24, Great George street, Westminster. (Angleterre).
MANGEON (Camille), à Melun (Seine-et-Marne).
MARÇAIS, boulevard de la Madeleine, 17.
MARCILLY (DE), architecte, maison Baseri, à Alexandrie (Égypte).
MARCHÉ (Eugène-Ernest), rue de Rambuteau, 37.
MARÈS (Henri-Pierre-Louis), rue Sainte-Foy, à Montpellier (Hérault).
MARIÉ ✱, rue de Bercy, 4
MARIN (Paul), boulevard Magenta, 165.
MARINDAZ (Jules-Charles), rue de Clichy, 56.
MARION (Jacques-Louis), rue Marcadet, 6, à la Chapelle.
MARIOTTE (Charles), quai de la Râpée, 36.
MARLE (Paul), aux mines de Blanzi (Saône-et-Loire).
MARSILLON (Jean), ingénieur principal, à Vesoul (Haute-Saône).
MARTENOT ✱, à Ancy-le-Franc (Yonne).
MARTIN (Léon), à Commentry (Allier).
MARTIN (Louis) ✱, rue de Strasbourg, 10.
MARTIN (Charles-William), avenue de la Reine Hortense, 13.
MARTIN (Léon-Adolphe), à Saint-Quentin (Aisne).
MARY (Albert-Jean-Baptiste), rue de Vaugirard, 20.

MM. MASSELIN (Armand), rue Dauphine, 16.
MASTAING (DE) (Louis), rue de Chaillot, 95.
MATHEY (Félix), à Saint-Pétersbourg, (Russie).
MATHIAS (Félix) ✱ ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
MATHIAS (Ferdinand) ✱ ✱ , à Lille) Nord).
MATHIEU (Henri), rue Casimir-Périer, 27.
MATHIEU (Ferdinand) ✱, au Creusot (Saône-et-Loire).
MATHIEU (Jules), rue de l'Entrepôt, 15.
MAUGET (Jean-Aristide), Pallazzo Rossi al Largo Marcatello, à Naples.
MAUGUIN (Pierre-Étienne), rue Ménars, 8.
MAUPEOU (DE) (Gilles-Paul), à la Ciotat (Bouches-du-Rhône).
MAURE (Edmond), rue Miroménil, 13.
MAYER (Edmond-Louis), rue d'Astorg, 9.
MAYER (Ernest) ✱, rue Pigale, 26.
MAZADE (DE) (Étienne-Louis-Denis), rue Singer, 20, à Passy.
MAZELINE ✱, constructeur, au Havre (Seine-Inférieure).
MAZILIER (Hypolyte), boulevard de Strasbourg, 89.
MÉGRET, au château de la Meynardie à Saint-Privat, par Saint-Aulaye (Dordogne).
MÉLIN (Jules-Léon), rue Albouy, 13.
MÉRAUX (Gustave-Louis), rue Chabrol, 36.
MERCIER, rue Pierre-Levée, 18.
MESDACH, rue Saint-Paul, 28.
MESMER ✱, à Graffenstaden (Bas-Rhin).
MESNARD, rue de Ponthieu, 21.
MEYER (J.-J.), rue de la Victoire, 47.
MICHAUD (Edmond), à Aubervilliers (Seine).
MICHAUD (Jules), Grande Place, 49, à Saint-Quentin (Aisne).
MICHEL (Alphonse), à Troyes (Aube).
MICHELANT ✱, au chemin de fer d'Orléans (au dépôt), à Ivry.
MICHELET (Émile), quai Valmy, 251.
MIGNON, rue de Ménilmontant, 151.
MINARY, usine de Casamène, à Besançon (Doubs).
MIRECKI (Antoine-Salwomir), en Russie.
MITCHELL (Jean-Baptiste), rue de Lyon, 61.
MOLÉON (Léopold), avenue Victoria, 11.
MOLINOS (Léon-Isidore) ✱, rue Blanche, 46.
MOLLARD, rue de la Paix, 86 (Batignolles).
MONNOT (Paul-Charles), à Pontru (Aisne).
MONTCARVILLE (DE) (Félix), au chemin de fer de Tours, à Tours.
MONTHIERS, rue Neuve-des-Petits-Champs, 64.
MONY (Stéphane) O ✱, à Commentry (Allier).
MORANDIÈRE (Jules-Raoul), rue Notre-Dame-des-Champs, 27.
MORANDIÈRE (Édouard-Alexis), à Napoléonville (Vendée).

MM. MOREAU (Albert), rue Neuve-de-l'Université, 9.
MOREAUX, rue de Ponthieu, 8.
MOREL, boulevard de Strasbourg, 62.
MORICE, à Hazebruck (Nord).
MORIN (le Général) G ✠ ✠ ✠ ✠, rue Saint-Martin, 292.
MOUCHELET Bey, Rue de Clichy, 60.
MOYSAN, chez M. Jolly, à Argenteuil (Seine-et-Oise).
MULLER (Adrien), rue d'Amsterdam, 18.
MULLER (Emile), rue Chabrol, 33.
NANCY (Alfred), ingénieur des docks, au Havre (Seine-Inférieure).
NEHSE (Charles-Georges), rue Drouot, 2.
NEPVEU (Charles) ✠, rue Blanche, 80.
NILLIS (Auguste), à Chaumont (Haute-Marne).
NOISETTE, rue des Poissonniers, 50, à la Chapelle.
NORDLING (Wilhelm) ✠, rue de Douai, 46.
NORMAND fils, constructeur au Havre (Seine-Inférieure).
NOZO (Alfred) ✠ ✠, boulevard Magenta, 169.
O'BRIEN (William), rue de Versailles, 17, à Bougival (Seine-et-Oise).
ORSATTI (Camille), rue Neuve des Petits-Champs, 38.
OTTAVI (Antoine), avenue de Saint-Cloud, 33, à Passy.
OUDOT (Charles), chef de Section, à Bédarieux (Gard).
PALOTTE (Émile), fils, rue de la Chaussée-d'Antin, 21.
PAQUIN ✠, au chemin de fer, de Saragosse à Alicante, à Madrid (Espagne).
PASCAL, rue du Faubourg-Saint-Denis, 92.
PASQUET-CHAMIER (George-Antoine), boulevard de Strasbourg, 48.
PAUL (Antoine), rue de Clichy, 69.
PÉLEGRIN (Henri-Auguste), à Bolène (Vaucluse).
PÉLEGRY (Maurice-François-Louis), rue de Ladalbade, 29, à Toulouse (Haute-Garonne).
PELIGOT (Henri), rue Bleue, 5.
PELLIER (Pierre-Émile), place Friedland, 32, à Metz (Moselle).
PEPIN-LEHALLEUR ✠ ✠, au château de Coutançon, par Montigny-Liancourt (Seine-et-Marne).
PERDONNET (Auguste) C ✠ O ✠ G ✠ ✠ ✠, rue de Calais, 16.
PEREIRE (Eugène) ✠ ✠, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
PEREIRE (Émile) fils, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
PEREIRE (Henri), rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
PÉRIGNON (Eugène), faubourg-Saint-Honoré, 105.
PÉRISSÉ (Jean-Sylvain), rue des Dames, 7, aux Batignolles.
PERRET (Louis), à Milan (Piémont).
PERREY (Edouard), à Villanueva de la Serena (Estramadure) (Espagne).
PERROT ✠, rue de Sèvres, 76, à Vaugirard.

MM. Petiet (Jules) O ✱ ✱ ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Petin ✱, à Rive-de-Gier (Loire).
Petit (Émile-Charles), rue des Minimes, à Roanne (Loire).
Petitgand, rue Richer, 13.
Petitjean, rue de Bruxelles, 13.
Petre, place Vendôme, 16.
Picard (Maurice-Félix-Antoine), rue de la Reine, 57, à Lyon (Rhône).
Picard, 36, Via della Cernajo, à Turin (Italie).
Pierre (Antoine), à Remauviller, près de Tillot (Vosges).
Pierron ✱, rue de l'Église, 13, aux Batignolles.
Piet (Jules), rue Bleue, 14.
Pihet fils, rue Neuve-Popincourt, 8.
Pillichody (Arnault), à l'Arbresle (Rhône).
Pinat (Léon), aux forges d'Allevard (Isère).
Piquet (Alphonse), 41, Calle Del Espiritu Santo, à Madrid (Espagne).
Place (de) (Henry), à Commentry (Allier).
Planhol (de), ingénieur principal de la ligne d'Italie, maison Laya, à Genève (Suisse).
Plazolles (Eugène), au chemin de fer de la Seudre La Tremblade (Charente-Inférieure).
Poinsot, rue Hauteville, 45.
Pollet, calle de las Dolorès Chicos, Cordoba (Espagne).
Poiret (Émile), au Mans (Sarthe).
Poncelet (Antoine), à Bruxelles (Belgique).
Poncet (Charles), entrepreneur, rue de Madame, 43, à Lyon (Rhône).
Poncin (Frédéric), à Tours (Indre-et-Loire).
Pot (Charles), rue Dieudé, 18, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Pothier (Alfred-François), rue de Penthièvre, 6.
Pottier (Ferdinand), passage des Eaux, 4, à Passy.
Pouchet (James), rue de Rivoli, 69.
Pouell, chef de section au chemin de fer du Nord, à Douai (Nord).
Poulot, avenue Trudaine, 9.
Poupard, rue des Batailles, 31.
Poupé, à Amiens (Somme).
Priestley (William-Charles), rue Saint-Gilles, 17.
Princet (Léopold), rue de Bondy, 92.
Prisse (Édouard-Louis) ✱, au chemin de fer d'Anvers, à Gand (Belgique).
Pronnier (Charles), place Saint-Georges, 28.
Pury (de) (Gustave), à Neuchâtel (Suisse).
Puylaroque (de) (Reymond), rue de Sèvres, 137.
Rancès (Frédéric), rue Sainte-Catherine, 137, à Bordeaux (Gironde).
Raspail (Émile-Jules), rue du Temple, 44.
Redon (Martial), allée des Bénédictins, à Limoges (Haute-Vienne).

MM. Regad (Léon), boulevard Longchamps, 107, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
Régel (de) (Philippe-Constant) ✱, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Regnault (Jules), rue de Stockholm, 4.
Renard (François), rue du Bac, 122.
Renard (Lucien), rue Saint-Jean-Baptiste, 9.
Renaud (Hippolyte-Antoine), à Deluz, canton de Roulens (Doubs).
Rey (Louis-Pierre-Félix), Calle Granado, 30, à Badajoz (Espagne).
Reymond, entrepreneur à Souel, par Cordès (Tarn).
Reynaud (Charles), à Cette (Hérault).
Reytier, rue du Cherche-Midi, 34.
Revin (Jules-Henri-Victor-J.), rue de Londres, 44.
Rhoné (Charles-Léopold) ✱, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Ribail (Xavier), rue du Chemin de fer, 35, à Plaisance.
Richard (Louis), rue de l'Oratoire-du-Roule, 44.
Riche (Armand), à Suez (Égypte).
Richemond (Emile-Louis), rue Mansart, 11.
Richemont (de) (Nicolas), à Gous, près Kocimoff, gouvernement de Riazan (Russie).
Richomme, rue Saint-Jean, à Pontoise (Oise).
Richoux (Charles), rue Marie-Antoinette, 1, à Montmartre.
Ridder (de) (Pierre-Octave), rue de Douai, 6.
Robert (Jacques), rue Corneillon, 5.
Robert (Gustave-Louis), à Montigny-lès-Metz (Moselle).
Rocaché (Louis-Jules), rue d'Angoulême-du-Temple, 52.
Rogé, à Pont-à-Mousson (Meurthe).
Rohart (François-Ferdinand), rue Nollet, 70, à Batignolles.
Romme (Alfred), à Saint-Quentin (Aisne).
Roseau (Ubald-Ursmar), à Fives, près Lille (Nord).
Rosiés (Aristide), rue des Abeilles, 18, à Marseille (B.-du-R.)
Rouart, rue Ménilmontant, 149.
Roussel (Simon), rue Saint-Louis au Marais, 67.
Roussin (Étienne), rue Tronchet, 25.
Rouyer (Victor-Léandre), rue Jean Goujon, 52.
Roy (Edmond), sous directeur de l'École des Arts-et-Métiers, à Lima (Pérou).
Roze (Amédée), rue du Château-d'Eau, 47.
Rozycki (Stanislas), rue de l'Église, 8, à Mont-de-Marsan (Landes).
Rubin (Arthur), rue de la Victoire, 22.
Ruchlmann (Albert-Martin), rue de la Duchesse, 7, à Anvers (Belgique).
Ruolz (de) ✱ ✱, rue du Cherche-Midi, 69.
Saillard, constructeur, à Nantes (Loire-Inférieure).
Saint-James, rue de la Cigogne, 5, à Rouen (Seine-Inférieure).

MM. Salleron, à Sens (Yonne).
Salvetat (Alphonse) ✱, à la Manufacture impériale de Sèvres (Seine-et-Oise).
Sambuc (Jules), Widen-Hengasse, 42, à Vienne (Autriche).
Sarazin (Alfred), boulevard de Strasbourg, 89.
Saulnier (Ernest), rue Saint-Sulpice, 24.
Sautter (Louis), rue Jean-Goujon, 16.
Scellier, directeur de l'Usine du Pied-Selle, à Fumay (Ardennes).
Schabaver, à Castres (Tarn).
Schivre, au Grand-Hornue, près Mons (Belgique).
Schlincker (Michel-Adolphe), à Creutzwald (Moselle).
Schlumberger (Henri) ✱, au château de Guebviller (Haut-Rhin).
Schlumberger Hartemann, à Guebviller (Haut-Rhin).
Schmerber, à Mulhouse (Haut-Rhin).
Schneider (Eugène) G. O ✱, vice-président du Corps législatif, rue Boudreau, 1.
Sébillot (Amédée), rue de Bruxelles, 19.
Séguin (Paul), rue de la Ville-l'Évêque, 40.
Ser (Louis), rue de Rivoli, 82.
Sérafon, rue de Londres, 7.
Servier (Édouard), rue de Choiseul, 4.
Sieber, via Borgo Nuevo, 40, à Turin (Italie).
Simonin (Louis), rue Lavoisier, 7.
Simons (Paul), à Maubeuge (Nord).
Songaylo (Adam-Ernest), rue du Parc-Royal, 6.
Stœkel (Charles), à Ahun (Creuse).
Sulberger-Ziegler, à Winterthur (Suisse).
Tardieu (Henri-Ernest), rue des Ursulines, à Valenciennes (Nord).
Tardieu (Georges), rue de Tournon, 13.
Tétard, Chaussée du Maine, 11.
Thauvin (Pierre-Jules), rue Martel, 17.
Thétard, boulevard Magenta, 190.
Thévenet (Jules), rue de Douai, 61.
Thirion (Charles), boulevard Beaumarchais, 95.
Thirion (Oswald), rue de la Pépinière, 18.
Thomas (Léonce) ✱, quai Voltaire, 25.
Thomas (Pierre), rue du Théâtre, 100 (Grenelle).
Thomas (Frédéric), à Cramaux (Tarn).
Thomé de Gamond, rue de Bruxelles, 34.
Thouin, (Charles) ✱ ✱, rue de Dunkerque, 20.
Thouvenot, à Saint-Maurice, canton de Valais (Suisse).
Tourneux (Félix), rue de la Michodière, 20.
Touron (Roch-Sylvain), rue de Dunkerque, 18.
Trélat (Émile) ✱, rue de la Tour-d'Auvergne, 37.

MM. Tresca ✻ ✻ ✻ ✠, sous-directeur au Conservatoire des Arts et Métiers, rue Saint-Martin, 292.
Tresca (Alfred), rue Saint-Martin, 292.
Tronquoy (Camille), rue du Faubourg-Saint-Denis, 13.
Turck (Michel), rue d'Amsterdam, 78.
Vaessen, directeur des ateliers de la Société Saint-Léonard, à Liége (Belgique).
Vaillant (Marie-Edouard), à Ancy-le-Franc (Yonne).
Valentin (Léopold), place des Martyrs, 17, à Bruxelles (Belgique).
Valério (Oscar), rue Richelieu, 99.
Vallez (Alphonse), à Trith-Saint-Léger, près Valenciennes (Nord).
Vallier (Émile), rue Saint-Lazare, 142.
Vandel (Émile), aux forges de la Ferrière-sous-Jougne (Doubs).
Vander Elst (Lucien), à Braine-le-Comte (Belgique).
Vauthier, rue de Provence, 21.
Véber (de), directeur général des chemins de fer, à Dresde (Saxe).
Vée (Léonce-Émile), rue de Lancry, 58.
Vegni (Angelo), à Florence (Italie).
Verdié ✻, gérant des aciéries et forges de Firminy (Loire).
Veret (Jacques), hôtel et passage Violet.
Vérité (Augustin-Lucin), à Beauvais (Oise).
Verrine (Louis-Justin), rue du Champ-de-Mars, 10.
Vidal, rue des Fossés-Saint-Jacques, 20.
Vigan (Eugène-Médéric), Cours de Vincennes, 46.
Vigneau (Guillaume), à Aiguillon (Lot-et-Garonne).
Vigreux (Léon), rue du Château-d'Eau, 36.
Villermé, rue Saint-Martin, 292.
Vinay (Pierre-Jules-Émile), place Dauphine, 24.
Vinchent ✻, ingénieur en chef de l'État, à Bruxelles (Belgique).
Vinchon, rue de Milan, 8.
Vinit (Pierre-Arsène), contrôleur au chemin de fer de Lyon, rue Montpensier, 34.
Viron, chef de section du chemin de fer d'Orléans, à la gare, à Chatellerault (Vienne).
Voruz aîné ✻, à Nantes (Loire-Inférieure).
Vuigner (Émile) O ✻ G ✻, faubourg Saint-Denis, 146.
Vuigner (Adrien), faubourg Saint-Denis, 146.
Vuillemin (Émile), aux Mines d'Aniche (Nord).
Vuillemin (Louis-Charles) ✻, rue Réaumur, 43.
Wahl ✻, rue de Bercy, 4, à Paris.
Wallaert (Auguste), à Lille (Nord).
Weil (Frédéric) ✻, rue des Petites-Écuries, 15.
West (Paul), rue de Provence, 7.

MM. Willien (Léon), rue du Faubourg-de-Saverne, 10, à Strasbourg (Bas-Rhin).
Windisch, à Saint-Pétersbourg (Russie).
Wissocq (Alfred), à Charleroi (Belgique).
Wohlguemuth-Leroy, engéniero del Centro Cientifico, à Barcelone (Espagne).
Wolski (Antoine), ingénieur des mines d'Auriol (B.-du-Rhône).
Wurgler (André), rue de l'Empereur, 29 (Montmartre).
Xavier (Jean), rue Laffitte, 16.
Yvert (Léon), rue de Londres, 58.
Yvon-Villarceau (Antoine) ✱ ✱, à l'Observatoire.

Membres Associés.

MM. Calard (Théodore), rue Leclere, 8.
Chateau, au port Saint-Ouen (Banlieue).
Cordier, à Bellefontaine, district de Porrentruy, canton de Berne (Suisse).
Courlet, à Deluz, près Besançon (Doubs).
Davillier (Henri) ✱, président de la Chambre du Commerce, rue Roquepine, 14.
Estoublon, maître de forges, à Rosières, par Saint-Florens (Cher).
Even, rue Montayer, 36, à Bruxelles (Belgique).
Milly (de), rue de Calais, 19.
Morizot (Édouard), à Bray-les-Couton de Magny (Seine-et-Oise).
Pereire (Émile) C ✱, président du Conseil d'administration du Chemin de fer du Midi, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
Pereire (Isaac) O ✱, président du Conseil d'administration de la Société générale du Crédit mobilier, rue du Faubourg-Saint-Honoré, 35.
M. le Président du Conseil d'administration de la C^ie^ du chemin de fer du Nord.
M. le Président du Conseil d'administration de la C^ie^ du chemin de fer de l'Ouest.
M. le Président du Conseil d'administration de la C^ie^ du chemin de fer de l'Est.
M. le Président du Conseil d'administration de la C^ie^ du chemin de fer d'Orléans.
M. le Président du Conseil d'administration de la C^ie^ du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Secrétaire Archiviste.

M. Husquin de Rhéville, rue Buffaut, 26.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE Ier TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1865

Séance du 6 Janvier 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

L'ordre du jour appelle l'installation des nouveaux membres du bureau et du comité. M. Petiet, président sortant, prononce l'allocution suivante :

MESSIEURS,

Avant de quitter ce fauteuil où votre bienveillance m'a placé, je dois vous rendre compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de finir.

Nous n'avons eu que vingt et une séances, au lieu de vingt-quatre : j'ai suivi l'exemple de mes prédécesseurs en vous convoquant une fois seulement dans chacun des mois d'été ; moins zélés que nous, nos confrères de Londres n'ont eu, durant ce trimestre, aucune réunion.

Les chemins de fer ont été l'objet principal de nos discussions, conséquence assez naturelle de la spécialité de votre président. Il n'a point à s'en faire gloire, ni peut-être à s'en excuser. La Société discute avant tout les questions dont elle est saisie par chacun de ses membres en particulier ; mais n'est-ce pas souvent le président lui-même qui doit suggérer l'examen de certaines affaires, et n'est-il pas tout simple qu'il les choisisse parmi celles qui lui sont familières ?

La durée des rails, le choix du meilleur mode de fabrication, vous ont occupés pendant plusieurs séances. Un mémoire de M. Eug. Flachat a été le point de départ de discussions intéressantes, dans lesquelles M. Aug. Alquié nous a fourni des renseignements précis et importants.

Voici, je crois, les conclusions auxquelles paraît se rallier la majorité des membres qui ont exprimé leur opinion.

Les rails de 37 à 38 kilogr. par mètre, avec les joints éclissés, offrent une résistance suffisante pour les lignes où la circulation est déjà assez considérable. Ces rails résistent bien au passage des véhicules ordinaires. Ils doivent souffrir évidemment, lorsque certaines paires de roues exercent sur eux une pression dépassant 11 à 12 tonnes,

mais la fatigue est encore plus grande pour les bandages que pour les rails, et il y a là pour la voie une garantie sérieuse contre l'exagération du poids des locomotives.

Les rails Vignoles comparés aux rails à double T, de même poids par mètre et de même hauteur, résistent mieux et ont une plus longue durée. Cela tient à ce que l'on peut établir en fer dur la partie supérieure qui supporte le roulement des trains, et mettre à la partie inférieure du fer nerveux, qui est moins cassant. — Fabriqués en fer de qualité ordinaire, mais avec un bon classement, les rails doivent durer vingt ou vingt-cinq ans sur toutes les lignes qui n'ont pas à supporter une circulation exceptionnelle.

Suivant M. Alquié, il ne faut donc pas, sur la très-grande majorité des chemins de fer, se préoccuper de l'insuffisance des rails actuels.

Pour les lignes très-fréquentées, l'emploi des rails en acier sera sans doute nécessaire; mais il y a lieu d'attendre que les prix se rapprochent davantage de ceux des rails ordinaires. — C'est tout à fait exceptionnellement que l'on fait usage aujourd'hui de rails en acier pour les voies ordinaires, tandis que l'acier est employé sérieusement et avec plein succès pour aiguilles, rails, contre-aiguilles et autres accessoires des changements de voie.

M. Chaperon, pour la Compagnie de Lyon; MM. Morandière, Sévène et Forquenot, pour celle d'Orléans; M. Ledru, pour le chemin de l'Est, et M. Mathieu, pour celui du Midi, nous ont donné sur le renouvellement des rails les renseignements les plus instructifs. Leur opinion confirme celle de M. Alquié, quant à la durée des voies exécutées depuis une dizaine d'années : c'est seulement sur certains points très-fatigués que l'on peut songer à employer l'acier pour la voie proprement dite.

Quelques membres, il est vrai, n'ont pas admis que toutes les forges sans exception pussent avoir à leur disposition du fer dur pour la partie supérieure et du fer à nerfs pour le bas du rail; mais cette opinion a été combattue dans une lettre détaillée adressée à la Société par M. Desbrière, secrétaire du Comité des forges.

Les systèmes de traction des trains sur les chemins de fer très-accidentés ont donné lieu à des communications intéressantes. Les procédés imaginés par M. Agudio ont été décrits avec une grande lucidité par notre collègue M. Molinos; qui, à cette occasion, a fait le parallèle entre le mode de traction par locomotive et celui par machine fixe.

La supériorité des locomotives sur tous les autres appareils a été reconnue d'une manière à peu près unanime pour toutes les inclinaisons ne dépassant pas 35 à 40 millimètres.

Pour les inclinaisons plus fortes, le mouffle différentiel à double effet, ou locomoteur funiculaire de M. Agudio, a, sur les machines fixes ordinaires, les avantages suivants : le câble d'adhérence étant fixe, son poids peut être moindre pour le même effort de traction; on économise donc la force nécessaire pour le mettre en mouvement et pour vaincre les frottements considérables sur les poulies qui doivent le supporter et le guider. On peut ainsi exécuter les plans inclinés en courbes sans redouter aucun inconvénient sérieux. — Indépendamment du câble d'adhérence, il y a deux câbles moteurs mis en mouvement chacun par une machine fixe, l'une en haut, l'autre en bas du plan incliné. Ces câbles moteurs marchent à une vitesse double de celle du train : ils peuvent donc être très-légers et par conséquent très-flexibles. Toutefois, le système comportant l'emploi d'un chariot spécial sur lequel se trouvent les grandes poulies qui reçoivent l'action des câbles moteurs et agissent sur le tambour du moteur; ce chariot est un poids mort, et présente, par conséquent, dans une certaine mesure, l'inconvénient reproché à la locomotive sur les fortes inclinaisons.

MM. Dubied et Desmousseaux de Givré, tout en reconnaissant le mérite de ce nouveau système, ont soutenu qu'il y aurait avantage à mettre le moteur lui-même sur le chariot et à établir ainsi un toueur à vapeur.

En définitive, il serait désirable qu'une expérience un peu sérieuse pût être faite, car la pratique seule peut trancher la question.

Une Note de M. Desbrière vous a entretenu des essais faits en Angleterre par M. Fell sur une locomotive à voie de $1^m,10$, avec toueur destiné à agir sur un rail central pour gravir la route du mont Cenis. — Ce serait l'application de l'idée de M. Séguier, combinée toutefois avec le maintien intégral du mode de propulsion de la locomotive à l'aide de son adhérence. Il faut attendre aussi pour cette invention les résultats de l'expérience.

Notre collègue, M. Desgrange, a remis à la Société un travail fort intéressant sur les dépenses de traction par locomotive pour la traversée du Semmering, où il existe des pentes continues, dans les deux sens, de 0,025 par mètre. Ces dépenses, qui, en 1860, avaient été de 2 fr. 85 c. par kilomètre, et par train de marchandises divisé en trois parties pour passer le faîte, ou de 8 fr. 55 c. par train ordinaire complet, n'ont plus été, en 1863, que de $2^f,155$ pour un train divisé en deux, soit pour le train ordinaire, de 4 fr. 31 c.

Cette différence de près de 50 pour 100 s'explique d'abord par une réduction absolue des dépenses, et en second lieu, par la modification des locomotives dans lesquelles on a utilisé l'adhérence de quatre roues sur six, au lieu de celle de trois paires de roues sur cinq.

Tout en constatant ces bons résultats, je crois qu'il serait encore préférable de faire usage, sur ces fortes inclinaisons, de locomotives utilisant l'adhérence du poids du moteur entier.

M. Brüll, notre collègue, dans un mémoire des plus intéressants, nous a fait connaître les moteurs en usage, dans les divers réseaux, pour le service de traction sur les fortes rampes. Il a décrit les divers systèmes, mais sans les vouloir comparer lui-même entre eux. Je suivrai son exemple et ne ferai aucune comparaison. Je dirai seulement, avec une conviction de plus en plus forte, que, pour les trains de marchandises très-lourds sur les inclinaisons ordinaires et pour l'exploitation des lignes à fortes inclinaisons continues, il me paraît préférable d'utiliser l'adhérence résultant du poids entier du moteur et de ses approvisionnements. Les locomotives-tenders, qui sont acceptées sans conteste par tous les ingénieurs, pour les services de manœuvres de gare et pour les petits embranchements, ne sont pas adoptées d'une manière aussi générale pour l'exploitation des grandes lignes. Cela tient sans doute aux complications qui résultent de l'emploi de plus de trois essieux : le progrès est cependant, à mon avis, dans cette direction : on arrivera, j'en suis convaincu, à des locomotives utilisant toute l'adhérence, et qui fonctionneront aussi sûrement et plus économiquement que les locomotives à tenders séparés.

L'état d'avancement des travaux de l'isthme de Suez nous a été exposé par M. Brüll et par M. Eug. Flachat. — Vous avez écouté avec un vif intérêt la description des procédés essayés et pratiqués pour l'exécution de cet immense travail. — Vous avez applaudi aux efforts de cette Compagnie et fait des vœux bien sincères pour que la gigantesque entreprise, jusqu'ici si bien conduite par M. Ferdinand de Lesseps, se réalise dans les délais relativement courts qui ont été indiqués.

Une disposition spéciale de régulateur à pendule conique, imaginé par M. Léon Foucault, a été présentée à la Société par M. Sautter. Elle a donné lieu à plusieurs

conversations, auxquelles ont pris part MM. de Mastaing, Tresca, Yvan Flachat, Farcot, Dubied, Charbonnier et Desmousseaux de Givré.

De nombreuses notices vous ont été communiquées; nous nous contenterons de les énumérer :

Sondages à Rochefort, par MM. Laurent et Degousée;

Chaussée en asphalte comprimée, par M. Malo;

Lignes télégraphiques de Belgique, Mémoire de M. Vinchent;

Bétons agglomérés, par M.-Coignet;

Fabrication et emploi du phosphate de chaux, par M. Ronna;

Lavoir à charbon, de M. Forey;

Presse sterhydraulique, de MM. Degoffe et Olivier;

Ponts métalliques en treillis;

Construction des grands bateaux transatlantiques, par M. J. Gaudry;

Utilisation des scories de forges dans les hauts fourneaux.

Notre collègue, M. Goschler, rapporteur d'une commission chargée d'étudier la question de l'enseignement professionnel, a fait à la Société un rapport détaillé. — Nous avons eu, en outre, sur le même sujet, un travail de M. Eug. Flachat et de M. Benoît Duportail. — Il paraît résulter, des discussions qui se sont produites, que la majorité ne trouve pas l'enseignement professionnel aussi défectueux qu'on a bien voulu le dire. Son organisation est évidemment bonne pour les professions élevées auxquelles on arrive par de fortes études. Il ne s'agit pour celles-là que de simples perfectionnements à introduire.

La question se pose donc presque exclusivement pour l'enseignement professionnel de jeunes gens n'ayant eu que l'institution primaire : elle se confond alors avec le mode de cet enseignement qui, par suite, se trouve lui-même en discussion. — Ici, comme ailleurs, il est à souhaiter qu'on procède par modifications successives : c'est la marche la plus prudente; si elle a pour résultat de retarder les solutions, elle est au moins de nature à empêcher les mécomptes.

Permettez-moi, messieurs, en terminant ce résumé, d'adresser à ceux d'entre vous *dont les travaux* ont alimenté nos discussions, le remercîment le plus cordial au nom de notre Société d'abord, et, si j'ose le dire, en mon nom personnel.

L'hésitation que je laissais paraître, il y a un an, en prenant possession de ce fauteuil, n'était pas une simple formule, mais l'expression réelle de mes sentiments : la reconnaissance pour les collègues qui ont facilité ma tâche n'est pas moins sincère.

L'un d'eux, messieurs, l'un des plus assidus et des plus dévoués à vos intérêts, reçoit aujourd'hui la récompense de ses efforts. En cédant la présidence à M. Salvetat, je me sens heureux de remettre en de si bonnes mains le mandat dont vous m'aviez honoré.

M. Salvetat, en prenant place au fauteuil de la présidence, s'exprime ainsi :

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Permettez-moi d'abord de remercier notre honorable Président de ses excellentes paroles; permettez-moi de vous dire aussi l'hésitation que j'éprouve en acceptant le mandat qu'il me transmet en votre nom. Les motifs qui le rendaient inquiet, puisés dans une trop grande méfiance et de lui-même et de votre activité, ne ressemblent en rien à ceux qui devraient me tenir éloigné de ce fauteuil.

M. Petiet avait réuni l'unanimité de vos suffrages; il avait déjà conduit avec talent vos discussions savantes; il jouit d'une réputation méritée. Enfin, il exerce avec éclat, dans toute la plus grande acception du mot, la profession d'Ingénieur civil.

Vous m'appelez dans des circonstances bien différentes.

Pour la première fois, depuis la fondation de votre Société, le Président que vous avez choisi ne doit son élection qu'à la simple majorité absolue des suffrages. Le déplacement de deux voix suffisait pour modifier le résultat du vote.

Certes, il est à désirer pour l'honneur du bureau, pour l'autorité de vos délibérations, que la présidence puisse, à l'avenir, s'appuyer sur une majorité plus imposante, et je remercie dès aujourd'hui, du fond du cœur, ceux qui ont, en accordant leurs suffrages à notre collègue M. Forquenot, préparé son élection pour l'année 1866.

Si j'accepte avec crainte, mais sans arrière-pensée, la situation exceptionnelle qui m'est faite, je ne suis pas moins profondément touché de votre sympathie, et je viens, avec franchise, vous avouer la pensée qui doit me soutenir dans l'accomplissement des devoirs que l'indulgence de beaucoup d'entre vous m'impose actuellement. Je crois pouvoir en toute confiance faire appel à votre savant et loyal concours; aucun sentiment hostile ne m'a privé des voix de ceux qui réservaient ma candidature pour l'année prochaine; et j'espère bien, en mettant au service de notre profession, dans le poste honorable auquel vous m'avez élevé, tout ce que j'ai de force, d'activité, d'indépendance, me concilier l'estime, la bienveillance et l'amitié de tous.

En cherchant à m'expliquer le vote qui m'amène au fauteuil de la Présidence pour l'année 1865, je commets peut-être la faute de divulguer les secrets du scrutin, mais je récolte au moins les avantages d'un dénombrement qui me permet d'apprendre ce que vous exigez de moi; je place en tête des suffrages qui viennent de faire pour ma réputation, pour ma famille, plus que n'ont pu faire vingt années de travaux assidus, en tête des suffrages auxquels je dois le plus grand honneur qui me soit jamais arrivé, les votes des amis que je compte parmi vous. J'estime le secours de mes élèves de l'École centrale, qui ont traduit par un appui chaleureux leurs sentiments d'affection envers leur ancien maître. Quelques voix, j'en ai pris bonne note, car c'est un éloge dont j'ai bien le droit d'être fier, ont voulu récompenser une carrière de lutte et de travail, une existence toute de dévouement aux industries diverses que beaucoup d'entre vous représentent dignement.

A tous, amis, élèves, camarades, merci, mille fois merci, pour l'honneur que vous avez bien voulu me faire, d'ajouter mon nom à la longue liste de vos anciens Présidents : Faure et Polonceau, dont nous sommes privés à tout jamais, Callon, Flachat, Mony, général Morin, Petiet, Perdonnet, Tresca, Vuigner : tous hommes de cœur, que nous retrouverons toujours à notre tête ou dans nos rangs, pour nous diriger et nous défendre dans notre profession essentiellement militante.

Je tiens, messieurs, comme très-grand l'honneur que vous m'avez fait.

Votre société est placée très-haut dans l'estime publique, non-seulement en France, mais à l'étranger. Il m'a été donné d'assister à Londres, en 1862, aux conférences que vous avez tenues en Angleterre sous la direction et par les soins de M. Tresca, notre Président d'alors, et j'ai compris, d'après l'accueil empressé qui lui fut fait par les Sociétés savantes et les ingénieurs anglais, la haute position à laquelle est parvenue l'association qu'il représentait.

Votre Société doit cette position, cette influence morale, au talent avec lequel vous

avez élaboré beaucoup de questions ardues, à la science avec laquelle vous avez traité les matières imprimées dans votre bulletin, à la réputation hors ligne des Présidents que vous avez choisis jusqu'à ce jour pour diriger vos discussions. Je n'ai ni leur autorité, ni leur science. Je ne saurais à cet égard me faire d'illusion, et si je n'ai pas décliné l'honneur de ma candidature, c'est que l'initiative vous en appartenait et que je me sentais soutenu par un dévouement sans égal, par votre estime personnelle, par la conviction dans laquelle je suis encore que je puis et dois compter sur votre énergique concours.

A quels motifs raisonnés, en dehors des entraînements du cœur, dois-je l'insigne honneur de votre mandat de ce jour? J'ai prêté, vous l'avouerai-je, messieurs, une oreille indiscrète aux confidences qui venaient jusqu'à moi, et je dois vous dire, sans crainte d'être démenti, que beaucoup des suffrages qui me sont restés acquis, jusqu'à la dernière heure, avaient pour but d'exprimer un vœu, au besoin de consacrer un principe, celui d'introduire dans nos travaux la plus grande variété possible. Aujourd'hui, plus qu'à toute autre époque, cette variété doit assurer la grandeur de nos relations, l'existence de notre société, l'indépendance de notre profession.

Loin de moi la pensée de faire un procès aux ingénieurs des chemins de fer; nous comptons parmi nous les plus illustres et les plus féconds. Les sentiments de reconnaissance qui nous animent tous nous font un devoir de n'oublier jamais les services qu'ils ont rendus à notre œuvre naissante, et l'éclat qu'ils ont jeté sur les discussions qui tiennent dans nos annales une si brillante place. Mais je suis ici narrateur, et je veux rester narrateur fidèle; personne, au surplus, n'est plus que moi grand admirateur des gigantesques travaux dont ils ont doté la France. Fruits de leurs labeurs, de leurs veilles, les nombreuses voies de communications qu'ont créées les ingénieurs civils portent partout la vie et la lumière. Personne plus que moi n'applaudit à ces exploitations grandioses qui comblent les vallées, suppriment les fleuves, percent les montagnes les plus élevées. Cependant, ne peut-on pas, sans blesser leurs droits à la reconnaissance publique, faire ressortir ici le mérite de quelques autres industries, auxquelles le pays doit aussi sa prospérité, sa grandeur, sa renommée? Vous ne l'avez pas pensé. Que les facilités de transport aient mis en circulation les hommes et les idées, que les chemins de fer aient contribué pour une large part aux transformations prodigieuses auxquelles nous assistons dans l'ordre matériel, nul le conteste. Mais n'est-il pas également logique de dire que les perfectionnements dans les moyens de production dont l'homme dispose aujourd'hui ne sont pas restés sans influence sur les progrès de la civilisation moderne, et sur le bien-être dont le bienfait s'étend sur toutes les classes de la société?

Nous ne sommes plus à l'époque où l'industriel ne marchait qu'accompagné d'un architecte pour créer son installation, agrandir ses ateliers, établir ses chantiers; où il n'avançait qu'à l'aide d'un mécanicien pour fonder ses moulins ou disposer ses moteurs hydrauliques, réparer ses machines, augmenter sa production; où il réclamait le concours d'un chimiste pour étudier les secrets de sa fabrication, améliorer ses produits, analyser ses matières premières, où il confiait à des administrateurs étrangers le soin d'améliorer ses méthodes et d'en accroître le rendement. Le manufacturier veille à la meilleure exploitation possible; il doit voir tout par lui-même, tout contrôler et tout connaître. Il n'y a plus guère que dans les usines nationales qu'on trouve des états-majors coûteux et anti-lucratifs, comme tout luxe d'engrenages inutiles.

En présence de cette nécessité d'une production économique et raisonnée, le génie civil a pris naissance, j'entends donc le génie civil dans la plus grande acception du mot, et, c'est pour répondre à ce besoin de discussion qui devient intéressant pour beaucoup d'entre vous, que plusieurs de vos collègues ont pensé que je pourrais utilement servir de trait-d'union entre l'habile ingénieur qui quitte la présidence et celui que quelques-uns de nos amis voulaient appeler à sa succession.

Ainsi donc, si j'ai bien compris la signification du vote de la dernière séance, vous voudriez voir traiter ici d'autres questions que celles qui font ordinairement le sujet de nos discussions.

Mais je sais de bonne source que presque toutes les tentatives faites par les différents bureaux qui se sont succédé jusqu'à ce jour sont restés sans effet, lorsqu'il s'est agi de lectures intéressant un grand nombre d'industries.

A quelles causes faut-il attribuer ces insuccès? Est-ce à l'impuissance, à la timidité de nos collègues qu'il faut faire remonter cette pénurie de documents instructifs qui concerneraient les principales de nos industries métallurgiques, mécaniques, chimiques. Certes non! Les plus importantes de ces industries sont représentées ici par les hommes auxquels on doit les progrès les plus récents, et nous les trouverions tout aussi persuasifs, tout aussi éloquents que les autres ingénieurs dont nous aimons la parole, s'ils avaient à défendre la valeur de leurs travaux, à prouver le mérite de leurs inventions, à combattre dans l'intérêt de leurs droits.

C'est dans la nature même des choses qu'il faut aller chercher les motifs qui ont éloigné de nous, et qui éloigneront peut-être encore l'étude des questions les plus utiles au développement de nos manufactures.

Il n'y rien à taire dans le service des chemins de fer. L'installation des voies, l'établissement des machines, loin de se produire dans l'ombre, se développent au grand jour, et toute discussion sérieuse ne peut être que profitable aux auteurs des systèmes ou des projets proposés.

Il ne saurait en être de même des observations relatives aux arts chimiques ou mécaniques. Un simple tour de main, la plus légère modification dans les procédés connus, assurant cette augmentation de rendement ou la supériorité des produits qui se traduisent par la diminution des prix de revient ou le maintien des prix de vente, peuvent devenir une source de richesse pour ceux qui les connaissent.

Au lieu de vivre en plein soleil, ces industries recherchent le silence; elles se développent dans l'obscurité; elles vivraient même dans la nuit la plus complète, si la clientèle, régulateur incorruptible, n'était là, vigie infatigable, présente à toute heure, pour lui rappeler que, comme pour toute chose en ce monde, l'air et la lumière sont des éléments importants d'existence et d'accroissement.

Dans une certaine limite donc, rendez la force des choses responsable du silence qui se fait autour des industries dont vous voudriez entendre parler.

Permettez-moi de vous dire que, seuls, vous pouvez remédier au mal que vous signalez, et qu'il dépend de vous, au moins, d'en atténuer les effets. Plus de fausse honte, pas de timidité. Ne vous cachez plus derrière la crainte de n'inspirer par vos communications à des collègues désireux de vous écouter, qu'un intérêt médiocre.

Il est convenu que nous nous assurerons toujours le concours de nos collègues qui suivent avec ardeur, avec intelligence les améliorations dont sont susceptibles les

voies ferrées de communication. Nous continuerons de prêter une attention réfléchie à l'exposé que voudront bien nous présenter ceux de nos collègues dont la vie se passe sur les voies ou dans les ateliers des chemins de fer, et, c'est au nom de M. Forquenot que je les supplie de ne pas déserter nos séances. Je profite de cette circonstance pour faire souvenir M. Petiet qu'il m'a promis de nous tenir au courant des expériences faites au Nord, sur la vaporisation. Je ne veux pas oublier de citer encore l'initiative prise par M. Perdonnet pour la création d'un prix représenté par une médaille d'une valeur de 2,000 francs, à décerner par votre Société, au meilleur travail sur des questions spéciales intéressant l'industrie des chemins de fer. L'étude de ces questions est de nature à fournir à nos séances de nombreux aliments.

Mais, Messieurs, qu'aucune branche de la profession d'ingénieur civil ne s'efface volontairement. Nous ne viendrons pas réclamer de vous des confidences indiscrètes, des révélations nuisibles à vos intérêts ou compromettantes pour les droits de ceux qui vous les ont confiées. Nous nous estimerons heureux si, après avoir erré quelque temps dans les sentiers secrets de l'industrie, quelques-uns d'entre vous voulaient bien coordonner les épis qu'ils ont glanés, et nous offrir les gerbes qu'ils auraient ainsi formées. Que de renseignements utiles, aujourd'hui méconnus, ignorés, seraient mis à profit par des collègues auxquels il ne manque, pour avoir beaucoup recueilli, que d'avoir beaucoup parcouru!

J'espère que cette année les questions vitales intéressant l'éclairage, le chauffage et la ventilation pourront être étudiées. M. Ser en ce qui concerne les travaux de l'assistance publique, M. Tresca qui fait partie de la commission nommée pour arrêter la meilleure disposition à donner à l'Opéra, ne pourraient-ils pas vous communiquer le résultat de leurs observations auxquelles viendraient se joindre les réflexions des habiles constructeurs que vous comptez dans vos rangs, MM. Thauvin, Dumery, d'Hamelincourt.

M. Émile Muller, aujourd'hui professeur du cours de constructions civiles à l'École centrale, ne demande pas mieux, j'en suis convaincu, que de nous entretenir de ses recherches sur les cités ouvrières, sur la fabrication des produits réfractaires, sur ses terres cuites à l'usage des constructeurs. Vous lui prouverez, par l'accueil qu'il recevra que la modestie qui le tenait éloigné de nous était mauvaise conseillère. M. Émile Muller, sous la raison sociale Bouillon, Muller et C^e^, connaît à fond l'établissement des buanderies. Pourquoi n'est-il jamais venu nous entretenir de ces installations qui touchent de si près à l'hygiène publique?

Nous le savons, M. Jordan a maintenant peu de loisirs; mais à son temps, à son heure, nous le prierons de causer avec vous des industries métallurgiques, qu'il connaît si bien; ne vous ferait-il part que de ses observations en Angleterre en 1862, vous lui en sauriez gré, ne serait-ce que pour encourager des études semblables lors de la prochaine exposition qui doit s'ouvrir à Paris en 1867.

Nous possédons parmi nous plusieurs ingénieurs habiles qui répandent à pleines mains la lumière dans la capitale, MM. Rhoné, Arson, Servier et beaucoup d'autres. Que ne viennent-ils nous expliquer, puisqu'ils ne craignent aucune concurrence, les secrets du développement gigantesque de leur production, la perfection de leurs moyens d'essais, la sûreté de leurs procédés propres à transformer des matières, sans valeur naguère, en principes nouveaux utilisables aujourd'hui dans les fabriques de produits chimiques.

L'industrie des glaces, celle des cristaux, celle du verre, comptent parmi nous leurs

plus habiles représentants. MM. Chevandier, Biver, Clemandot ne pourraient-ils donc rien venir nous apprendre sur ces industries, sans faire les affaires de leurs concurrents? M. Valerio, désintéressé maintenant, est assurément l'un des mieux placés pour nous entretenir de la fabrication des glaces. Les usines qui travaillent le verre et les matières vitreuses en général marchent d'une manière continue; c'est à elles que sont appliqués avec le plus de succès les appareils Siemens. Une excellente étude sur ce système de four décrits et appréciés par M. Marin attend un complément que les collègues que je me plais à nommer peuvent facilement rédiger.

Rien ne se fait dans les industries textiles sans que notre collègue M. Alcan n'en soit informé. Nous savons bien qu'il ne peut, pendant la durée des cours du Conservatoire des arts et métiers, assister à nos séances; mais il serait, ce me semble, assuré d'un légitime succès, s'il venait traiter au milieu de nous, de ces grandes questions qui lui sont familières, et dont vous accepteriez l'exposé, comme toujours, avec satisfaction, avec reconnaissance.

Le Conservatoire des Arts et métiers expérimente et contrôle. Je crois qu'il nous sera possible, encore cette année, de compter sur l'intérêt que M. Tresca nous a témoigné; croyez-vous qu'il refuse de nous apporter le résultat de sa longue expérience? Certainement non.

Il est une autre source à laquelle je vous prierai de puiser pour alimenter nos discussions et fournir à l'impression du Bulletin de votre Société.

Le traité de commerce avec l'Angleterre a donné lieu, comme vous le savez, à l'enquête dont les séances ont été publiées par ordre du Gouvernement. L'histoire industrielle de l'époque est virtuellement comprise dans les déclarations contradictoires que les dépositions font connaître. Il faut pour compléter cette œuvre savoir y lire; faire la part des erreurs en sens contraire qui reculent les limites du vrai, résumer et condenser les chiffres les plus propres à faire connaître les meilleures voies pour augmenter nos débouchés. Deux intérêts opposés se trouvaient en présence : l'Angleterre voulant envahir nos marchés; l'industrie nationale redoutant une concurrence et cherchant à s'assurer la protection la plus large. Il y a donc, de part et d'autre, certaines exagérations qu'un esprit impartial et désintéressé peut seul éliminer. Un essai fait dans cette voie par ceux qui se sont occupés des industries entendues fournirait certainement un aperçu très-instructif pour l'histoire industrielle et commerciale du pays.

Une voix beaucoup plus éloquente que la mienne ferait ressortir en brillantes couleurs le tableau des avantages que retireraient nos Annales de l'impression des mémoires dont vous avez en portefeuille tous les éléments. J'ai dû, quant à moi, prendre au hasard quelques noms pour vous prouver que la pauvreté dont vous avez eu peur n'est qu'apparente, et qu'il ne vous manque que quelques moments d'énergie ou de bon vouloir, pour combler les lacunes que quelques-uns de vous semblent regretter.

A l'œuvre donc, Messieurs, je vous y convie, en comptant sur votre loyal concours.

Les usages de votre Société ne rendent pas obligatoire pour le Président nouveau le discours d'installation; mais tous en reconnaissent l'utilité. Si quelques-uns de mes prédécesseurs ont cru pouvoir s'en dispenser, c'est que les circonstances dans lesquelles ils arrivaient ne mettaient à l'ordre du jour aucune question importante. Je crois bonnes ces allocutions qui, s'adressant à des hommes comme vous, nous met-

tent immédiatement en communauté d'opinions. Sorte de manifeste, espèce de programme rédigé sous la responsabilité seule de celui qui les écrit et les signe, elles nous amènent, au moins, à nous connaître plus intimement.

Si je m'étais trompé, si votre sympathie me faisait défaut, si, enfin, je ne marchais pas de front avec vous pour poursuivre notre but unique, élargir la sphère de notre action, augmenter l'importance légitime à laquelle nous avons droit, ajouter à la grandeur de notre profession, vous sauriez m'en avertir.

A mon sens, Messieurs, ce qui se passe autour de nous est bien fait pour nous indiquer la voie que nous devons suivre afin d'accroître notre part d'influence morale; l'une des plus importantes questions qui désormais intéressent le génie civil est celle qui s'élabore sous le nom d'enseignement professionnel. Allons au devant du danger qu'il pourrait y avoir pour l'avenir de notre Société à rester étrangers au mouvement progressiste qui se dessine nettement aujourd'hui. Rappelez-vous l'éloquence avec laquelle le Ministre de l'instruction publique exhorte les professeurs de l'Université, les membres de facultés de province à répandre par des lectures, par des conférences les connaissances de toutes sortes qu'ils sont capables d'enseigner et de vulgariser. Le programme ministériel apprécie sainement les avantages immédiats que le pays doit retirer de cette propagande scientifique et littéraire. Il n'exclut en rien la science appliquée, la technologie, la statistique, l'économie politique. Mêlons donc nos eaux aux fleuves officiels, et prenons notre part de ce grand entraînement intellectuel qui, contrairement à la plupart des torrents naturels, ne doit déposer comme épaves que des idées saines et fécondes.

L'organisation définitive de l'enseignement professionnel aura peut-être pour point de départ les résultats des expériences qui se tentent partout en ce moment en France, et qui confirmeront les avantages de l'initiative individuelle sur les bénéfices de la réglementation officielle et gouvernementale. Au point de vue spécial qui nous occupe, l'urgence d'une organisation raisonnée de l'enseignement professionnel est nettement indiquée dans le rapport consciencieux de MM. Morin et Tresca, publié dans les travaux de la commission française envoyée en 1862 pour étudier à Londres la deuxième exposition universelle anglaise : cette même question a été traitée l'année dernière par M. Flachat, dans un mémoire remarquable. Beaucoup de bonnes choses ont été dites sur ce sujet par MM. Goschler et Benoît-Duportail. Permettez-moi de risquer quelques pensées qui, ce me semble, seront de nature à prouver que votre part d'action peut être très-considérable quant aux moyens pratiques auxquelles seront dues les solutions qui doivent satisfaire à des besoins immédiats. Ces besoins, en effet, liés à la richesse de notre pays, réclament une prompte satisfaction : une étude approfondie ne saurait refuser le concours de vos connaissances spéciales, et j'espère bien que nous aurons quelque jour de nouvelles observations à recueillir.

Deux tendances sont en présence actuellement. L'instruction publique, l'Université, est-elle en état de répondre aux légitimes aspirations des familles qui destinent aux arts et métiers le plus grand nombre de leurs enfants? Le ministère des travaux publics, du commerce et de l'agriculture, en érigeant le Conservatoire des Arts et métiers en une sorte d'académie industrielle, pourrait-il accepter pour l'avenir la responsabilité de l'instruction telle qu'on la reçoit dans les écoles d'arts et métiers, au Conservatoire, à l'École centrale des arts et manufactures?

De grandes réformes sont essentiellement nécessaires. Et je ne serais pas surpris de

voir que ni l'une ni l'autre des directions qui veulent retenir cette nouvelle branche de l'enseignement ne puissent en exécuter le programme. Les rouages administratifs sont-ils assez mobiles, assez souples pour se prêter dans un court espace de temps aux exigences d'une instruction variable avec les principaux centres industriels, variable encore avec les progrès rapides que réalisent quotidiennement les manufactures?

Une parole éloquente disait naguère au conseil d'État que le temps n'était plus où l'industrie dût se développer en serre chaude, sous le régime des prohibitions à tout prix : il faut des industries vivaces, solidement constituées, capables de résister au souffle changeant des crises commerciales.

Le traité de commerce avec l'Angleterre a inauguré cette ère de liberté salutaire aux forts tempéraments; quelques usines qui n'étaient pas nées pour la lutte ont disparu ; celles qui pouvaient vivre ont pris un développement qu'elles n'osaient espérer.

Le même langage peut être applicable à l'enseignement professionnel; il lui faut la liberté qui stimule et progresse, liberté résultant de l'initiative individuelle. Croit-on que l'École centrale, fondée, comme vous le savez, il y a trente-cinq ans, eût réussi, si l'État seul y avait songé? Les exemples récents de l'École d'administration, de l'Institut agronomique, sombrés après quelques années d'expérience, prouvent que l'État ne sait ou ne peut se plier aux circonstances impérieuses d'une expérimentation qui demande du temps, et nous n'ignorons pas ce qu'il a fallu d'énergie, de sang-froid, de courage pour couronner de succès, dans des époques difficiles, une entreprise qui pouvait devenir ruineuse, l'institution d'une école que beaucoup de nos voisins nous envient aujourd'hui.

Je n'entends pas dire que l'enseignement professionnel ne se puisse développer qu'à l'aide d'une liberté illimitée. Mais j'émets ce vœu, qu'il convient de lui laisser d'autant plus de franches allures que c'est avec plus de sincérité qu'on le voudra voir réussir. Il est certain que bien des tentatives se produiront, infructueuses d'abord, stériles, même si l'on veut, mais productives ensuite lorsqu'elles auront été transformées. N'admettons donc en fait d'entraves que celles que le strict nécessaire rend indispensables. La surveillance la plus sévère, sous le contrôle de l'État, mais une action très-large de la part des municipalités ou des individus. Nos grands centres industriels connaissent leurs besoins : les agglomérations sont faites ; elles réclament les enseignements spéciaux, aussitôt qu'on s'élève au-dessus de ce que je pourrais nommer l'instruction professionnelle primaire.

Que les intelligences supérieures tendent à tout généraliser, rien de mieux ; mais on ne peut contester la nécessité pour les organisations moyennes de spécialiser. N'a-t-on pas vu l'instruction des lycées rester jusqu'à ce jour impuissante pour satisfaire à de bonnes études commerciales, et cette situation n'a-t-elle pas fait la fortune des établissements qui ont pris le nom d'Écoles de commerce. Il y a plus, en généralisant dans les colléges les études préparatoires, en voulant élever le niveau des connaissances, on a vu s'abaisser la moyenne de l'instruction ; il a fallu s'arrêter dans cette voie, car il ne suffit pas de donner à l'esprit des aliments nourrissants, il faut que la digestion soit possible; sans assimilation, l'esprit ne profite pas ; il n'acquiert rien par un simple effort de mémoire.

Au point de vue pratique, il y a donc lieu de séparer l'enseignement professionnel

de l'enseignement littéraire tel qu'il se pratique dans les lycées ou les collèges. Il y a lieu d'en confier l'installation à l'intervention privée.

Il est à craindre que les études préparatoires, les avant-projets, les projets, les enquêtes, cortége inséparable de toute création dont l'État prend l'initiative, ne fassent perdre un temps précieux et n'ajournent indéfiniment une réalisation dont l'actualité n'est un doute pour personne. Une réglementation, d'autant plus précise et absolue qu'elle aura été plus mûrement réfléchie, s'opposera nécessairement à cette mobilité d'action indispensable à tout établissement qui cherche ses voies et moyens, pour répondre à des besoins nouveaux et mobiles eux-mêmes.

Le Conservatoire des Arts et métiers, auquel on pourrait rattacher l'enseignement professionnel, autour duquel on pourrait grouper les divers degrés de cet enseignement, a, quant à lui, sa raison d'être, par la propagande intellectuelle dont il est chargé. Et peut-être serait-il difficile d'en changer la destination. L'expérience de tous les jours prouve que les matières trop générales qui s'y trouvent traitées, quel que soit le talent des professeurs, ne satisfont qu'imparfaitement aux vœux des populations ouvrières. Quelles difficultés ne rencontre pas la direction pour élargir le cercle des connaissances qu'on y voudrait voir introduire, devant la brutalité des budgets, devant les lenteurs administratives, devant les exigences bureaucratiques (soit dit sans blesser personne)!

Beaucoup d'entre vous savent combien, depuis que l'École centrale est devenue un établissement national, il est difficile de modifier en quoi que ce soit, malgré la bienveillance du ministre qui porte à l'École un intérêt sincère, le programme des études dans lequel vous voudriez voir introduire quelques changements. Les modifications rêvées par quelques-uns ont même paru tellement urgentes que deux projets d'école spéciales ont été conçus depuis deux ans. L'une, école centrale de chimie, par l'intelligente initiative de M. Ménier, fabricant de produits chimiques; l'autre, sous le nom d'école centrale d'architecture, par les soins de notre collègue et ami M. Émile Trélat.

Le premier projet n'est pas abandonné : l'exécution est seulement différée. Mais ce *projet a produit* ce résultat inattendu que devant une concurrence possible le Muséum *d'histoire* naturelle est sorti de léthargie. Les portes de ses laboratoires se sont ouvertes, et cette année même, un certain nombre de jeunes chimistes, sous la direction de M. Frémy, s'est exercé par des manipulations variées au dur métier de chimiste manufacturier.

Le second projet, messieurs, n'aura pas à redouter, nous l'espérons, la rivalité des établissements de l'État. L'École des beaux-arts répond à des besoins qui ne sont plus ceux que l'École centrale d'architecture doit satisfaire. L'exécution pratique du projet se réalise en ce moment; remercions M. Trélat; souhaitons de tout cœur à l'établissement qu'il fonde en ce moment le succès de sa sœur aînée.

Comme professeur au Conservatoire des Arts et métiers, M. Trélat a pu voir de près les lacunes de son enseignement; il a compris que nous étions éloignés encore de l'époque où le Conservatoire, augmentant le rayon de sa sphère d'action, représentera l'agglomération des facultés professionnelles, qui au même titre que les écoles de droit, de médecine et de pharmacie, dispenseront les grades, diplômes, licences, doctorats, sur des épreuves sérieuses, après des inscriptions régulières.

Ce jour-là, messieurs, notre cause aura fait un grand pas.

Dans cet ordre d'idées, je crois que le corps des Ingénieurs civils peut beaucoup

pour créer l'enseignement professionnel supérieur. Il vous suffira de vouloir, pour fonder de suite des cours dont le mérite comblera la lacune que les corps universitaires ou les Facultés de province ne peuvent remplir. Il n'y a pas de cité manufacturière qui n'ait compris ce besoin de notre époque. Mulhouse, Lille, Lyon, Rouen, Nantes, ont des amphithéâtres où se réuniraient en grand nombre des praticiens avides de s'instruire, si des hommes comme vous acceptaient la mission de les éclairer, en leur transmettant les secrets de leur longue expérience.

Puisse ma conviction, et je le désire vivement, en m'adressant à tous, quelle que soit votre origine, aux ingénieurs qui se sont formés aux rudes travaux de l'atelier, à ceux qui ont commencé dans les écoles d'arts et métiers, à ceux qui ont passé par l'École centrale des arts et manufactures, à ceux enfin qui, élèves de l'École polytechnique, ont déserté les services publics pour exercer la profession tout aussi utile, tout aussi laborieuse d'Ingénieurs libres, puisse ma conviction vous convaincre que vous avez beaucoup à gagner, pour l'influence de notre profession, à prendre part au mouvement de propagande scientifique, littéraire ou industrielle dont les symptômes se manifestent de toute part. Faisons des lectures, ouvrons des conférences, et s'il est nécessaire votre Président de cette année prêchera d'exemple.

C'est cette part de labeur que je voudrais vous voir franchement accueillir, parce que derrière elle est aussi cette part de légitime influence à laquelle a droit dès aujourd'hui le corps auquel nous appartenons.

Nous avons sous les yeux ce spectacle intéressant de Paris se déplaçant tous les soirs pour assister à des lectures, à des conférences dont le goût se propage. Y aurait-il inconvénient, je vous le demande, à ce que de temps à autre, dans le local de vos séances, par quelques-uns d'entre vous, soient abordées ces questions d'intérêt spécial qui captivent l'attention des manufacturiers.

Le recrutement du personnel des écoles est un point important pour l'influence morale des écoles elles-mêmes. Prouvez par l'impulsion libérale que vous donnez autour de vous que vous êtes à la hauteur des plus instruits, des mieux préparés à l'enseignement des sciences appliquées. Beaucoup d'entre vous ont été profondément émus des derniers choix que l'École centrale des arts et manufactures vient de faire pour remplacer nos maîtres aimés. Et si je risque ici, dans cette enceinte cette dernière observation, c'est que les réflexions qu'elle suggère s'appliquent également, avec autant d'à-propos et de vérité, à toutes les autres écoles qu'à celle dont je parle. C'est que je ne puis d'ailleurs oublier que le centre premier d'attraction de notre société fut l'émanation de l'ancienne école centrale qui, par un sentiment de libéralisme bien entendu, voulut élargir son cadre, en reconnaissant comme de dignes émules, les libres pionniers du jour quelle que fût leur origine, et comme leurs maîtres ou leurs collègues tous les hommes de cœur dont les travaux honoreront leur époque.

Parlez, messieurs, à la génération présente avide de vous entendre, ne vous montrez pas abattus par la défaite d'hier, et lorsque la mort aura éclairci les rangs de vos maîtres, lorsque l'heure du repos, et d'un repos bien acquis, aura sonné pour quelques-uns d'entre eux, vous serez accueillis, quelle que soit la valeur de vos compétiteurs, car vos anciens professeurs eux-mêmes vous trouveront dignes de leur succession ; ils seront fiers de vous avoir formés. A mérite égal, ils vous devront, ils vous donneront la préférence.

Je m'arrête, messieurs, et j'ai hâte de vous donner la parole; mais je ne terminerai

pas cette allocution sans vous proposer un vote de remercîment à l'honorable président dont l'activité a su faire face aux besoins d'une année laborieuse, à M. Petiet qui me lègue avec votre mandat un bel exemple à suivre. La haute estime qui entoure le nom de M. Petiet l'a mis à même de faire beaucoup pour l'état financier de notre Société. Secondé par le comité dont le dévouement ne lui a jamais fait défaut, il a vu s'accroître notre situation en bien-être matériel, en influence morale.

Quant à moi, faisant des vœux pour que cette année soit également productive ; je vous engage à porter à la ruche votre part de butin et je compte sur votre activité, comme vous tous pouvez compter sur mon entier dévouement à vos intérêts.

Il est ensuite donné lecture des deux lettres suivantes de M. Ferdinand Mathieu, relatives à la communication de M. J. Gaudry, sur les bateaux transatlantiques.

« A l'occasion de la mise en service du *Lafayette*, M. J. Gaudry a communiqué à la Société des ingénieurs civils une note intéressante sur les résultats comparés de divers appareils moteurs. Les chiffres qu'il a fournis ayant été mis en doute, je vous demande la permission de vous soumettre quelques renseignements sur cette même question qu'il serait fort utile d'élucider.

« Le frein de Prony est certainement l'instrument le plus sûr pour déterminer la puissance d'une machine ; malheureusement il ne peut être appliqué que dans des cas fort rares relativement au nombre de moteurs qui se construisent. Il faut donc, pour généraliser les comparaisons, avoir recours à d'autres méthodes, et c'est ainsi que l'indicateur de Watt a été adopté comme moyen d'essai le plus propre à s'appliquer à tous les systèmes et à toutes les puissances.

« Dans la pratique, qu'appelle-t-on aujourd'hui une force de cheval?

« Ici deux tendances absolument contraires se manifestent parmi les constructeurs. Les uns, pour faire apparaître des consommations faibles, s'efforcent à ramener cette unité à la limite des 75 kilogrammètres qui forment la base de leurs transactions. D'autres, au contraire, ceux surtout qui ont à soutenir des luttes de vitesse, vendent sous le nom du cheval des forces trois et quatre fois supérieures. Mais comme en fait *la* puissance nominale forme pour une bonne partie des exploitants le terme de comparaison, on est arrivé peu à peu à une confusion excessive ; les observations mêmes qui ont été opposées à M. J. Gaudry en fournissent la preuve.

« Lorsque l'on applique l'indicateur à certaines machines fixes réputées très-économiques, on constate que le cheval de 75 kilog. y est représenté par un travail sur le piston de 90 à 95 kil. au plus ; dans ces conditions, le cheval nominal consomme $1^k,50$.

« Mais si de là nous passons à la machine de navigation, nous constatons que pour beaucoup de constructeurs, notamment en Angleterre, cette même force nominale est représentée par le chiffre de 300 kilog. sur le piston ; pour quelques-uns même elle va à 400. En France, la marine impériale, dans ses marchés, fixe comme minimum le chiffre de 200 kilog.

« Chaque machine qui se livre à la marine est éprouvée à l'indicateur, et il résulte des procès-verbaux qui se dressent à cette occasion que dans ces essais la consommation est en moyenne de $4^k,7$ par cheval de 75 kilog. sur le piston. Ce chiffre, toutefois, doit être considéré comme un maximum, car dans ces expériences les feux sont poussés à outrance, et les chauffeurs fort souvent ne sont que de simples matelots.

« La règle admise pour le service courant consiste à estimer la consommation à

raison de 100 kil. par cheval nominal et par 24 heures; ce chiffre correspond à $\frac{100^k}{24} \times \frac{75}{200} = 1^k,562$ par cheval de 75 kil. sur le piston.

« Si donc nous comparons ce résultat à celui mentionné ci-dessus pour les machines fixes, nous trouvons que les consommations sont respectivement dans le rapport de $1,5 \cdot \frac{75}{95} = 1^k,185$ à $1^k,562$, soit, nombres ronds, dans le rapport de 12 à 16.

« Or, il faut remarquer qu'en mer, pour chaque 30 kil. de vapeur mesurés à l'indicateur dans les cylindres, il faut extraire de la chaudière 15 kil. d'eau bouillante pour éviter les dépôts; la machine marine ordinaire est donc soumise par là à une cause de pertes qui tient à l'emploi de l'eau de mer et non à la construction propre.

« Lorsqu'au lieu du condenseur par injection on adopte le condenseur par contact, ou réfrigérant, ce qui permet d'alimenter avec de l'eau douce, la consommation baisse dans le rapport de 100 à 80; elle est donc ramenée à $1^k,25$ par cheval de 75 kil. sur le piston.

« Si de la machine marine nous passons à la machine fluviale, qui marche sous une pression plus élevée et avec plus de détente, nous constatons des résultats encore plus favorables. D'après des essais faits par voie officielle sur les types les plus perfectionnés, la consommation n'est là que de $1^k,10$ par force de cheval de 75 kil. sur le piston. Ces machines, comparées aux machines fixes, présentent donc le rapport de $1^k,185$ à $1^k,10$.

« Ces faits, qui tous sont constatés par des documents officiels, semblent démontrer que M. J. Gaudry était dans le vrai, et si leur communication à la Société pouvait être accueillie favorablement, je serais satisfait d'avoir pu contribuer pour une certaine part à faire disparaître des confusions qui ne manquent pas d'avoir aujourd'hui une influence fâcheuse sur la façon dont s'apprécie le rendement des machines. Ces confusions existent, du reste, pour les machines fixes comme pour celles qui s'appliquent à la locomotion et produisent en ce qui les concerne les mêmes mécomptes.

« Veuillez agréer, etc. »

« Les observations que j'ai soumises à M. le Président à l'occasion des communications de M. l'ingénieur Gaudry avaient moins pour but d'assigner des chiffres précis de consommation à tel ou tel système de machines, que d'appeler l'attention de la société sur la confusion qui se manifeste de plus en plus entre la force nominale, qui est donnée aux appareils, et leur force réelle en chevaux de 75 kil., et sur les conséquences fâcheuses de cette tendance dans les transactions relatives aux constructions mécaniques.

« Partant de là, j'ai dû citer plutôt des moyennes que des données absolues. Ainsi, pour les bonnes machines fixes, à détente et condensation, destinées aux ateliers, la consommation varie généralement entre $1^k,10$ et $1^k,90$ par cheval effectif de 75 kil., de même que, pour les appareils de mer, elle est comprise, dans les essais, entre $1^k,5$ et $1^k,9$ par cheval de 75 kil. sur le piston.

« Or, dès l'instant que j'exclus les cas spéciaux, pour ne citer que des moyennes, il me devient difficile de fournir des documents pour confirmer leur exactitude. En pareilles circonstances, si les appréciations émises peuvent et doivent être discutées, il ne saurait en être absolument de même pour l'énoncé des faits, parce que sans cela la discussion des questions scientifiques s'embarrasserait à l'infini.

« Au cas particulier, je crois que les chiffres cités pour les machines fixes sont très-connus; ils sont confirmés d'ailleurs par ce qui a été dit dans la séance même. Quant à ceux relatifs aux machines de mer, ils résultent surtout des nombreux procès verbaux qui se dressent par ordre de l'administration de la marine, lors des essais de réception, mais dont la production intégrale n'est pas autorisée. J'ajoute toutefois que si, pour chaque cas spécial, cette publication n'est pas permise, les faits généraux que ces documents établissent et que j'ai cités en partie, ne sont pas moins connus des ingénieurs de la marine et ne seraient niés, je crois, par aucun d'eux.

« Veuillez agréer, etc. »

M. Tresca, tout en reconnaissant l'intérêt que pourra présenter la publication de ces lettres, pense que la question soulevée n'a pas fait un grand pas au point de vue de la comparaison entre les consommations. On n'a pas précisé la meilleure méthode à employer pour comparer le travail de diverses machines; il reste dans toute cette discussion une confusion qu'il est cependant facile d'en éliminer. Il suffit, en effet, pour cela, de définir avec plus de soin les expressions dont on se sert.

Rappelons d'abord qu'on appelle cheval, un travail de 75 kilogrammètres par seconde. C'est là une unité qu'aucun artifice de langage ne devra altérer. Le cheval nominal est une unité fictive, sans valeur fixe, qu'aucun des procès-verbaux de la marine ne cite lorsqu'il est question de consommation.

Pour se rendre compte de la marche d'une machine à vapeur, le meilleur moyen est, sans contredit, de mesurer le travail disponible sur l'arbre principal de cette machine, puisque cette mesure indique ce qu'elle peut utiliser. C'est en chevaux que l'on comptera ce travail, c'est-à-dire que l'on dira combien ce travail, mesuré pendant une seconde, contient de fois 75 kilogrammètres. Avec les nombres ainsi obtenus pour diverses machines, on pourra faire, et l'on fait journellement, des comparaisons, et ces comparaisons sont légitimes.

Quand la mesure du travail disponible sur l'arbre moteur n'est pas possible, comme cela a lieu le plus souvent sur les machines de bateau et sur les locomotives, il faut nécessairement avoir recours à un procédé moins direct, et on mesure, à l'aide d'un indicateur de Watt, le travail développé par la vapeur sur le piston. L'unité est encore le cheval, soit un travail, par seconde, de 75 kilogrammètres.

On comprend qu'on ne puisse comparer utilement deux machines dont le travail aurait été mesuré pour l'une de la première façon, et de la seconde pour l'autre.

Si l'application du frein est impossible sur l'une des machines à comparer, on devra employer, pour toutes deux, la mesure du travail de la vapeur par l'indicateur. La comparaison qu'on établira entre les nombres ainsi obtenus ne sera plus aussi certaine, mais elle ne comportera d'autre erreur que celle résultant de leur différence dans l'utilisation du travail *indiqué*.

Il n'en sera plus de même si, ayant mesuré le travail de la première machine au frein de Prony, on mesurait celui de la seconde à l'indicateur, ce serait mélanger des mesures prises dans des conditions dissemblables et c'est justement ce que l'on fait souvent, et ce qui a pu introduire un certain trouble dans nos dernières discussions. C'est ainsi et ainsi seulement que l'on arrive pour la consommation par cheval et par heure à des chiffres aussi éloignés que 1 et 2 kilogrammes.

Que si l'on déduisait de ces procès-verbaux de la marine impériale, dont la publication est interdite, on ne sait pour quelle cause et au grand préjudice de l'intérêt général, les consommations par heure et par cheval *indiqué*, on pourra très-bien

comparer ces chiffres, soit entre eux, soit avec ceux que donneraient des machines fixes ou même des locomotives essayées aussi à l'indicateur.

MM. Farcot ont installé des machines à vapeur pour l'élévation de l'eau, comme celle du pont de Cé, par exemple, dont la consommation par cheval a été estimée d'une façon qui diffère des deux précédentes; ce n'est ni sur le piston, ni sur l'arbre moteur de la machine, c'est par la quantité d'eau élevée qu'on a mesuré le travail développé. Le chiffre obtenu qui est, malgré ce mode de mesure, inférieur à 1 kilogramme par heure, ne peut certes pas se comparer avec ceux que l'on recueille par d'autres moyens de mesure.

En résumé, ce qui est important, c'est de ne comparer entre elles que des mesures de la même nature, soit des chevaux de 75 kilogrammètres, mesurés au frein sur l'arbre moteur, soit des chevaux de 75 kilogrammètres, mesurés sur le piston à l'aide de l'indicateur.

Quant à la dénomination de cheval nominal qu'on emploie souvent dans ces comparaisons, c'est une unité fictive qui repose sur un certain nombre d'hypothèses superposées, puisque c'est la quantité de chevaux que l'on trouverait par le calcul, si, étant donné une machine telle qu'on les fait aujourd'hui, on supposait qu'elle fonctionnât à la même vitesse, à la même pression que la machine de Watt, et sans détente comme elle, suppositions qui ne se réalisent plus dans les machines actuelles, et dont les diverses machines s'écartent à des degrés très-divers. Il y a donc lieu de rejeter cette fiction et de se borner aux moyens de mesures que nous avons indiqués.

Les marins français et anglais ont bien adopté l'unité du cheval *indiqué*, mais cette expression fort utile, n'est pas encore, chez nous, aussi répandue qu'il serait désirable.

M. LE PRÉSIDENT pense que l'impression des lettres de M. Mathieu ne peut que rendre plus faciles et plus sûres les comparaisons entre les divers types de machines.

M. DUBIED rappelle les difficultés que présente l'essai au frein des machines de bateau. Des expériences dynamométriques ont été faites à bord des vaisseaux à hélice de la marine impériale l'*Elorn* et le *Primauguet* au moyen du dynamomètre de rotation de M. Taurines, appliqué sur l'arbre, entre la machine et le propulseur. Elles ont permis de mesurer très-exactement, pendant la marche même des machines, le travail moteur transmis par leurs arbres, travail qui a pu être comparé à celui de la vapeur sur les pistons, relève en même temps, au moyen de l'indicateur de Watt. Ce procédé est difficilement applicable aux navires à roues.

M. DUBIED objecte à ce qu'à dit M. Tresca, les différences qui existent entre le rapport du travail de la vapeur sur les pistons, et du travail transmis par l'arbre moteur dans les divers systèmes de machines. Ce rapport est plus grand dans les machines à vapeur à deux cylindres sans volant travaillant à pleine pression, ou à peu près, employées dans les appareils de navigation, que dans les machines fixes à détente très-prolongée et à lourds volants, où les frottements du piston de l'arbre du volant, absorbent une plus grande fraction du travail moteur. Le travail utile d'une machine doit être mesuré sur son arbre, et il n'est pas tout à fait exact d'admettre que la puissance de machines de systèmes différents est proportionnelle au travail de la vapeur sur leurs pistons.

M. PÉRIGNON fait observer que l'expression de cheval nominal sert à mesurer la valeur financière de la machine, puisque cette mesure est basée sur les dimensions du cylindre.

M. Mayer fait remarquer que la proposition de M. Tresca se trouve en réalité indiquée dans les lettres de M. Mathieu.

M. J. Gaudry rappelle que dans son mémoire les consommations sont rapportées aux forces effectives et non pas aux forces nominales. Il arrive souvent, lorsque plusieurs constructeurs sont en lutte pour la fourniture de machines devant permettre de réaliser une vitesse déterminée, que quelques-uns fournissent sous la dénomination de machines de 500 chevaux, des machines produisant un travail effectif de 800 chevaux et plus. Il y aurait inconséquence à baser sur la force nominale aucun calcul sérieux de consommation de combustible.

M. Dallot fait observer que, s'il est parfaitement vrai qu'on ne puisse comparer les rendements des machines de terre et ceux des machines de navigation et locomotives qu'en chevaux indiqués, puisque ces dernières ne se prêtent pas aux essais du frein, il convient néanmoins d'ajouter que cette comparaison ne présenterait aucun intérêt au point de vue des machines proprement dites, puisqu'elle ne ferait connaître que les consommations respectives des générateurs pour produire un poids donné de vapeur. Toutes les résistances passives, le travail absorbé par l'alimentation, la condensation, resteraient en dehors de ce parallèle. Qu'on évite donc de se livrer à des comparaisons sans base sérieuse, et l'on peut dire sans intérêt réel. Il est certainement antiscientifique de chercher à démontrer que des machines sans enveloppe, à basse pression, à faible détente, sont d'un emploi aussi avantageux que des machines placées dans les meilleures conditions théoriques et pratiques de fonctionnement. Mais de plus, c'est se livrer à une étude absolument superflue. Le travail des machines marines et locomotives, aussi bien que celui de certaines machines fixes, telles que les marteaux pilons, machines de mines, etc., est essentiellement variable. On ne peut donc comparer utilement qu'entre eux les divers spécimens de chaque catégorie de moteurs. L'unité de puissance d'une locomotive à marchandises ne doit pas même être celle d'une locomotive à grande vitesse. Chaque nature de moteurs requiert des qualités spéciales qui en excluent souvent d'autres essentielles à un autre type. Les résultats de comparaisons aussi contraires à la nature des choses ne peuvent donc être que de pures fictions.

M. le Président annonce que M. Beugniot, membre de la Société, vient d'être nommé chevalier de l'ordre royal de Saint-Maurice et Saint-Lazare.

MM. Beaupré, Cottrau et Dancy ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 20 Janvier 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président informe la Société que M. Weil a été décoré de l'Ordre d'Isabelle la Catholique.

M. le Président donne lecture d'une lettre par laquelle M. F. Bourdon communique à la Société le procès-verbal de réception de la frégate cuirassée *la Numancia*,

construite pour le gouvernement Espagnol par la *Société nouvelle des forges et chantiers de la Méditerranée.*

M. F. Bourdon ayant assisté à la discussion provoquée par les lettres de M. F. Mathieu sur la détermination de la force des machines marines, a pensé qu'il pouvait être utile de faire connaître la manière dont on procède aux essais des bâtiments de guerre, c'est pourquoi il envoie le document en question qui n'indique pas la consommation, parce que la marine Impériale a renoncé à la faire constater officiellement.

Les tableaux ci-après indiquent les conditions d'établissement de ce navire et résument les expériences faites.

COQUE — CUIRASSE — ARMEMENT.

Longueur de la coque en fer	96m.
Largeur, hors cuirasse	17,34
Creux	8,84
Hauteur, au-dessous de la flottaison, de la cuirasse qui s'étend de bout en bout	2,35
Épaisseur du matelas en bois de teak sous la cuirasse	0,40
Épaisseur de la cuirasse	0,43
Poids de la cuirasse	1500 tonnes.
Poids du matelas en bois de teak	450 —
Poids de la coque en fer	2200 —
Déplacement total en charge	7200 —
Tirant d'eau moyen	7m,65
Hauteur de la batterie en pleine charge (3 mois de vivres pour 600 hommes et 1000 tonnes de charbon)	2m,25

En faisant plonger cette frégate de 50 centimètres de plus, elle pourrait prendre facilement 1700 tonnes de charbon, qui lui permettraient de parcourir 9500 milles marins en trente-cinq jours.

La batterie est percée pour recevoir 40 canons de fort calibre.

L'écartement des sabords et la hauteur d'entre-pont permettent de manœuvrer très-commodément des canons de 68.

Deux réduits cuirassés sont établis sur le pont pour le commandant, l'un à l'arrière, l'autre à l'avant.

La mâture et la voilure de ce navire sont conformes à celles des frégates de la marine impériale de second rang.

MACHINE.

Nombre de cylindres	A = 2
Diamètre des cylindres	D = 2m,14
Course des pistons	C = 1m,30
Nombre de tours pour la force nominale de la machine.	N = 49t,5
Force nominale de la machine..... $A\frac{D^2CN}{0.59}$	= 1000.

HÉLICE.

Diamètre de l'hélice	6m,350
Pas moyen	8m,50
Nombre d'ailes en fer	4 déployées.

CHAUDIÈRES.

Nombre total de foyers en huit corps	40
Surface de grille totale	$73^{mq}.60$
— de chauffe totale	1860^{mq}
Charge des soupapes en centimètres de mercure, en sus de la pression atmosphérique	133 centim.

EXPÉRIENCES DU 3 NOVEMBRE 1864.		10^h 1/2.	1^h 1/2.
Intensité du vent		Forte brise debout	Faible.
État de la mer		petite houle.	petite houle.
État de la voilure		néant.	néant.
Tirant d'eau corrigé de l'arc au commencement de chaque expérience	Moyenne	$7^m.65$	$7^m.63$
	Différence	$1^m.00$	$1^m.00$
Surface plongée du maître couple, B^2		$111^{mq}.18$	$110^{mq}.84$
Longueur du parcours en milles marins de 1832^m		$6^m.72$	$6^m.72$
Durée du parcours		33′ 15″	29′ 19″
Vitesse du bâtiment en nœuds par les relèvements, V		12.13	13,753
Nombre de tours moyen par minute	de la machine, N	53.35	54.50
	de l'hélice, n	53,35	54.50
Avance du bâtiment pour un tour de l'hélice (en mètres)		$7^m.018$	$7^m.83$
Coefficient de recul avec le pas moyen		0 .174	0 .0788
Nombre de foyers employés		40	40
Ouvertures des valves		5/10	10/10
Introduction de la vapeur dans les cylindres		70/100	70/100
Pression moyenne, aux manom. des chaudières, en cent. de merc.		130	133
Vide moyen aux baromètres des condenseurs		60	61.7
Courbes d'indicateur.	Pression moyenne effective sur les pistons en centimètres de mercure, P	121.27	122.69
	Vide moyen sous les pistons en centimètre de mercure	48.	51.7
Puissance moyenne développée pendant le parcours.	en chevaux nominaux par la formule $F = A\frac{D^2CN'}{0.59}$	1076.54	1098.85
	en chevaux de 75 kilogrammètres sur les pistons f	3647	3770
Valeur de m dans la formule.	$V = mV^3\frac{F}{B^2}(p-6)$	1.170	1.310
	$V = mV^3\frac{f}{B^2}$	3.788	4.244
Nature du charbon employé		Grinsby.	Grinsby.

Les expériences ont eu lieu dans la rade d'Hyères : celle du matin, entre le rocher des Mèdes par le petit Seraiguet et l'Ile des cristaux, par la tache blanche, et celle du soir, entre l'île des cristaux, par la tache blanche et le rocher des Mèdes par le petit Seraiguet, en présence de la Commission nommée par Sa Majesté catholique, et présidée par M. l'amiral Tomas Acha y Alvarès.

Pendant toute la durée des essais à la mer, c'est-à-dire pendant un espace de dix heures, ces machines ont fonctionné avec la plus grande régularité, même aux allures rapides de 55 tours par minute. Aucune trépidation, aucun mouvement n'ont pu être remarqués dans les bâtis et les pièces fixés qui sont dans les meilleures conditions de solidité. Aucun échauffement ne s'est produit dans les diverses

pièces de la machine et la moyenne au condenseur s'est constamment maintenue à près de 64 degrés.

Les appareils évaporatoires ont produit de la vapeur en abondance, même en laissant les robinets d'extraction entièrement ouverts.

A la suite de ces essais, la Commission de la marine espagnole a pris en recette la frégate la *Numancia*, en témoignant à la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée toute sa satisfaction sur la manière dont cette importante construction a été exécutée.

M. Marché donne communication de sa note sur le frein Castellvi : ce frein a été l'objet en Espagne de nombreuses expériences à la suite desquelles des rapports favorables ont amené le gouvernement espagnol à engager les compagnies à employer ce système de frein, et à *en imposer l'usage obligatoire aux entreprises qui obtiendront de nouvelles concessions de chemin de fer en Espagne.*

Cette consécration officielle et un peu en dehors des précédents lui a paru devoir appeler l'attention de la Société sur cet appareil. Plusieurs compagnies espagnoles, beaucoup d'ingénieurs se trouvent ou vont se trouver dans l'obligation d'appliquer ce système de frein, il y a donc quelque intérêt à le faire connaître et à voir se formuler les objections qui pourraient être présentées.

M. Marché donne la description succincte de l'appareil et fait ressortir les principes sur lesquels sa construction est basée, puis il rend compte des résultats pratiques qu'il a donnés.

Le frein proprement dit, c'est-à-dire l'ensemble des organes qui doivent produire à la circonférence des roues une résistance transformant le frottement de roulement en frottement de glissement, ne présente aucune particularité, il pourrait être d'ailleurs l'un quelconque des appareils actuellement en usage.

C'est le mode de transmission du mouvement aux sabots et le choix du moteur qui caractérisent le système.

Le mouvement est donné aux quatre sabots d'un même wagon-frein par un arbre longitudinal s'étendant sous le châssis du wagon et soutenu par quatre paliers fixés aux traverses. Cet arbre porte deux parties filetées en sens inverse et dont les écrous sont reliés à un ensemble de leviers agissant sur les sabots.

On comprend que la rotation de cet arbre a pour conséquence un déplacement longitudinal des écrous, et un mouvement correspondant des sabots par rapport aux roues.

Si, à l'extrémité de l'arbre horizontal, on cale une roue d'angle engrenant avec un pignon porté par un arbre vertical muni d'une manivelle, le garde-frein sera en possession d'un frein à peu près semblable à ceux en usage, et le wagon ainsi construit pourra être placé en un point quelconque d'un train.

On fait entrer dans la composition d'un train, trois, quatre ou cinq wagons munis de freins, suivant la nature et la composition de ce train et l'inclinaison des pentes qu'il aura à descendre. Installé, comme il est dit plus haut, chacun de ces wagons exigerait un garde-frein, et les freins agiraient indépendamment les uns des autres, isolément.

Le but de l'appareil Castellvi est de permettre à tous ces freins d'agir *simultanément* et d'obéir à *l'impulsion* d'un seul homme, le conducteur du train.

Mais, cette simultanéité d'action entraîne l'usage d'un moteur puissant, qui ne

peut être l'homme. Celui-ci n'est chargé que d'effectuer un embrayage, l'effort moteur étant emprunté à l'un des essieux des wagons.

Pour obtenir ces résultats, les wagons munis de freins sont groupés en tête ou en queue du train et sont attelés les uns à la suite des autres. Leurs arbres horizontaux sont reliés ensemble de manière à ce que le mouvement de rotation imprimé à l'un d'eux soit transmis à tous, et que, par conséquent, tous les écrous reliés aux leviers des sabots se déplacent simultanément.

La jonction des arbres est faite par une série de joints brisés et de manchons intermédiaires qui leur permettent d'obéir aux changements de direction occasionnés par le mouvement horizontal ou vertical des wagons consécutifs.

Chaque arbre se termine par un étrier qui reçoit deux des branches du croisillon d'un *joint de Cardan*, dont les deux autres branches sont assemblées à deux étriers reliés par un manchon en fer creux, qui permet un mouvement dans la direction de l'axe quand la distance des deux véhicules vient à varier, lors du passage dans les courbes, par exemple.

L'un des wagons porte dans un compartiment spécial attenant à la guérite, l'*appareil moteur*. C'est à l'essieu au-dessus duquel est ce compartiment qu'on emprunte le mouvement. Cet essieu porte une poulie de friction conique qui tourne toujours pendant la marche. Le mouvement de rotation de cette poulie est transmis, par frottement, à une autre poulie conique montée sur un arbre vertical s'élevant au-dessus de l'essieu. Cette transmission n'a lieu que lorsqu'on met les deux poulies en contact, la seconde pouvant être à volonté, à l'aide d'un levier, élevée ou abaissée par le conducteur du train.

Au-dessus de la poulie conique, l'arbre vertical porte deux roues d'angle folles sur cet arbre et engrenant toutes deux avec une troisième roue montée sur un arbre horizontal. Un double manchon à frottement manœuvré à l'aide d'un levier, permet de fixer à volonté l'une des deux roues folles et de faire en conséquence tourner l'arbre horizontal dans l'un ou l'autre sens, suivant que le train marche en avant ou en arrière. Le mouvement de l'arbre horizontal est enfin transmis par pignons et roues à l'arbre longitudinal qui s'étend sous tous les wagons-freins.

D'après les dimensions adoptées, l'arbre longitudinal fait un tour pour $7^t,2$ de l'essieu moteur, c'est-à-dire que l'écrou auquel sont reliés les sabots parcourt $0^m,043$ (pas du filet) pendant que le train parcourt environ 22 mètres.

Il est bien entendu que l'essieu moteur n'est pas muni de sabots. Quand le serrage des freins aura produit l'arrêt du train, on obtiendra la séparation des sabots et des roues, en agissant à la main sur une manivelle fixée sur un arbre vertical qui, à l'aide d'un pignon et d'une roue, permet d'imprimer à l'arbre horizontal un mouvement en sens inverse de celui donné par l'essieu moteur.

Ce même ensemble de roues et de manivelle pourrait être aussi employé, si l'appareil moteur venait à manquer, pour serrer les freins à la main, c'est-à-dire comme frein de sûreté.

De nombreux essais ont été faits sur cet appareil, en Espagne; mais, comme il arrive souvent pour des expériences de cette nature, à des époques différentes, dans des circonstances diverses et sans qu'on ait observé ou rapporté toutes les données nécessaires pour les rendre *comparatifs*.

Quoi qu'il en soit, et sans leur accorder une trop grande importance, on ne peut s'empêcher d'en tirer des conclusions favorables à l'énergie et à la promptitude d'action du frein.

M. Marché cite quelques-unes de ces expériences :

1. Train formé d'une machine, d'un tender, d'un vagon-frein chargé, de 8 vagons de marchandises, de 4 voitures à voyageurs et d'un vagon muni de l'appareil moteur, le frein Castellvi agissant sur les cinq derniers véhicules. Pente de 0m,016 par mètre; vitesse, 50 kilomètres, freins du tender et du premier vagon et freins Castellvi agissant ensemble. — Arrêt à 104 mètres.

2. Même composition de train : pente de 0m,015, vitesse 50 kilomètres, freins Castellvi agissant seuls. — Arrêt à 157 mètres.

3. Même composition de train : voie horizontale, vitesse 60 kilomètres, freins Castellvi agissant seuls. — Arrêt à 110 mètres.

4. Train formé d'une machine, de quatre fourgons vides, de sept voitures à voyageurs et de quatre vagons portant les freins Castellvi. Pente de 0m,012, vitesse 46 kilomètres, freins Castellvi agissant seuls. — Arrêt à 150 mètres.

5. Expérience de comparaison : mêmes conditions de composition de train, pente de 0m,012, vitesse 45 kilomètres, quatre freins ordinaires agissant. — Arrêt à 804 mètres.

6. Train formé d'une locomotive, d'un tender, de cinq voitures et d'un fourgon avec appareil moteur. Pente 0m,020, vitesse 40 kilomètres, freins Castellvi et frein du tender agissant. — Arrêt à 160 mètres, après 12 secondes.

7. Même composition de train, même vitesse. Pente de 0m,005. — Arrêt à 83 mètres, après 10 secondes.

8. Mêmes conditions : voie horizontale. — Arrêt à 57 mètres, après 8 secondes.

Tout en reconnaissant que ces essais ne permettent guère de porter un jugement définitif sur l'appareil et d'assurer que la complication des divers organes ne présentera pas dans la pratique de grandes difficultés, il est juste de dire qu'il a été constaté que la torsion de l'arbre horizontal, que l'on peut redouter à première vue, ne s'est pas produite d'une manière assez sensible pour donner lieu à de notables inconvénients, et que la transmission du mouvement de l'essieu à l'arbre vertical se faisant par l'intermédiaire de poulies de friction, les chances de rupture des engrenages, par les chocs, sont en partie atténuées.

M. Marché ajoute que la nécessité de grouper les vagons munis de freins n'interdit pas de couper les trains, pour des manœuvres en gare ou dans le cas d'un excès de résistance, car on peut placer vers le centre du train un vagon muni d'un frein semblable mais manœuvrable à la main, de sorte que la partie isolée du train ne sera jamais totalement privée de freins.

Le poids de l'appareil moteur est considérable; mais comme les vagons munis de freins n'exigent aucune disposition spéciale dans l'intérieur de la caisse, leur contenance sera celle des vagons ordinaires, et le rapport du poids mort au poids utile pourra en somme être inférieur à celui qu'on atteint avec des freins ordinaires.

Il y aurait d'ailleurs une autre compensation dans l'économie notable qu'on pourrait réaliser dans le personnel des trains, par la suppression des gardes-freins.

M. Brull, sans vouloir entrer quant à présent dans la discussion des qualités du frein Castellvi, désire appeler l'attention de la Société sur une question accessoire que fait naître l'intéressante communication de M. Marché. C'est une question de principe qui intéresse à un haut degré les Compagnies de chemins de fer de tous les pays.

D'après les indications de M. Marché, le gouvernement espagnol a recommandé à

certaines Compagnies l'application du nouveau frein ; il en a ordonné l'emploi à d'autres chemins de fer dans un article spécial du cahier des charges de la concession.

N'est-il pas fâcheux de voir un gouvernement prendre sur lui de juger les questions techniques de l'exploitation des chemins de fer, et imposer impérativement des solutions aux Compagnies? N'est-ce pas prendre une part de responsabilité bien lourde, et n'est-il pas plus sage d'apporter dans les questions de cet ordre la réserve que l'Administration a toujours gardée en France dans les occasions analogues?

Prenant *a priori* comme excellente en tous points l'invention de M. Castellvi, en imposer l'application générale nous paraît être une atteinte à l'indépendance des Compagnies qui ont la garde de la sécurité publique, en même temps qu'une mesure nuisible au progrès de l'exploitation.

M. Goschler rappelle que la Société des Ingénieurs civils a, l'année dernière, accueilli avec beaucoup d'intérêt le mémoire de MM. Nozo et Geoffroy, sur les *conditions d'établissement des cheminées de locomotives*.

A son tour, un de nos collègues, M. Vidal, a entretenu la Société de quelques considérations ayant trait au même sujet, à propos de l'ouvrage de M. Zeuner, *das locomotiven Blaszorhr*.

M. Goschler a pensé qu'il ne serait pas indifférent à la Société de connaître de nouveaux faits se rattachant à une question dont l'importance n'a pas besoin d'être démontrée; car si l'étude du tirage dans les chaudières de locomotives intéresse en particulier l'industrie des chemins de fer, cette étude généralisée et étendue aux machines fixes, locomobiles et marines devient une question de premier ordre.

Tout le monde sait que la combustion dans les foyers des chaudières de locomotives est activée au moyen d'un courant d'air, provoqué par l'appel énergique que produit le jet de vapeur sortant, soit directement de la chaudière par un *souffleur*, soit des cylindres après avoir dépensé une grande partie de son action mécanique sur les pistons.

C'est l'effet de ce jet de vapeur sur l'air sortant des tubes de la chaudière qui produit le degré plus ou moins actif du tirage et de la combustion dans le foyer. — En sortant de la tubulure qui porte le nom d'*échappement*, la vapeur imprime à la colonne d'air renfermée dans la cheminée un mouvement de translation d'autant plus rapide que la vitesse de la vapeur est plus grande à l'orifice de l'échappement; mais plus grande est aussi la contre-pression dans les cylindres. De là, diminution de l'effet utile dans la machine.

M. Riggenbach, ingénieur en chef de la traction au chemin de fer central suisse, a cherché en modifiant le profil en long de la cheminée, d'une part, et la disposition de l'échappement de vapeur de l'autre, à diminuer les effets de la résistance que la colonne de vapeur et d'air entraînée doit éprouver dans la cheminée. — Il a, dans ce but, élargi la base des cheminées en-dessous du niveau de l'échappement. et augmenté leur diamètre à quelques décimètres au-dessus de ce même niveau, de manière à donner à l'orifice une section, double de la section au niveau de l'échappement.

M. Goschler dépose sur le bureau un dessin représentant les divers profils de cheminées, appliquées par M. Riggenbach sur les trois types de locomoteurs en usage sur le chemin de fer central suisse. — Il y joint également un tableau comparatif des dépenses du combustible, graissage, etc., effectuées pendant deux trimestres correspondants des années 1863 et 1865. Dans la première période, en 1863, les machines

portaient encore les anciennes cheminées. — Durant la seconde période, en 1864, les locomotives fonctionnaient avec leurs cheminées modifiées.

Il résulte de cette comparaison que les machines ont réalisé, à la suite de cette transformation, une économie qui atteint jusqu'à 10 p. 100 de la dépense, suivant la classe des machines.

Quant à la seconde modification apportée par M. Riggenbach, elle consiste à diviser l'ouverture de l'échappement en quatre ouvertures distinctes, dont l'ensemble présenterait une surface supérieure de 1/10 à la section de l'échappement unique. — L'ingénieur distingué qui fait les essais pense qu'en divisant aussi le jet de vapeur il augmentera l'entraînement de l'air ambiant en présentant aux deux fluides une plus grande surface de contact — mais jusqu'ici la comparaison entre les deux systèmes n'a pu être faite d'une manière suivie. M. Riggenbach a bien voulu promettre de faire connaître les résultats. M. Goschler s'empressera de les présenter à la Société dès qu'ils seront en sa possession.

Il ajoute à ces indications que M. Zeuner, dans l'ouvrage déjà cité, et porté à la connaissance des Ingénieurs français par l'intéressant travail publié par M. Piron, dans les *Annales des mines*, a indiqué parmi les moyens dont on pourrait user pour améliorer le tirage des locomotives, celui de la cheminée à section variable. Bien que ces deux modes de résoudre la question soient complétement différents, il est convenable de rappeler à ce propos les travaux si remarquables de l'éminent professeur à l'École polytechnique de Zurich.

M. Brull dit que les intéressants résultats communiqués par M. Goschler peuvent être considérés aujourd'hui comme parfaitement acquis.

Déjà, il y a cinq ans environ, notre collègue, M. H. Giffard, avait fait une série d'expériences qui faisaient nettement ressortir le même fait de l'avantage des cheminées coniques divergentes pour l'échappement. Il employait de petits tubes en laiton, alésés suivant différents profils. Au centre et à la base de ces petites cheminées, il envoyait un filet de vapeur produit par une petite chaudière d'expériences. Des manomètres étaient disposés pour mesurer dans chaque cas la dépression correspondante à chaque valeur de la pression d'émission. A l'aide de ces appareils très-simples, M. Giffard a reconnu que la dépression de l'air aspiré était plus forte pour une même pression de la vapeur avec une cheminée légèrement évasée qu'avec une cheminée cylindrique. Il a pu mieux déterminer l'angle qui était le plus favorable aux résultats.

D'un autre côté, MM. Schaæffer et Rucdenberg, constructeurs à Magdeburg (Prusse), fournissent depuis près de deux ans à plusieurs Compagnies allemandes des cheminées évasées, de l'invention d'un ingénieur nommé Prussman. Ces cheminées sont divergentes, suivant une certaine courbe à laquelle l'inventeur attribue une influence très-marquée. Elles sont en fonte, de sorte que les formes les plus savantes peuvent être obtenues sans surcroit de dépenses. Ces cheminées, qui portent d'ailleurs un appareil spécial pour arrêter les flammèches, sont déjà fort estimées en Allemagne.

M. Desmousseaux de Givré donne ensuite communication de son mémoire, relatif aux ponts en métal.

M. le Président fait remarquer que le travail de M. Desmousseaux de Givré peut donner lieu difficilement, après une simple lecture, à la discussion que plusieurs membres pourraient désirer de voir engagée. Il invite M. Desmousseaux de Givré à

rédiger, pour le compte rendu de la séance, d'une manière très-nette, les diverses propositions qu'il a établies, et qui pourront alors devenir l'objet d'une discussion utile dans l'une des prochaines séances.

M. Desmousseaux de Givré formule en conséquence les propositions qui suivent : Elles sont les déductions du théorème de géométrie qu'il a présenté à la Société, en janvier 1864.

1° De la réduction de toute déformation à trois dilatations ou contractions, suivant trois axes rectangulaires[1] généralement déterminés, et que j'appelle axes principaux de déformation, il résulte que dans tout milieu (solide, fluide ou pâteux; homogène ou non), il existe trois systèmes de courbes généralement déterminées, qui sont en chaque point tangentes aux axes principaux de déformation, et qui, par conséquent se coupent normalement en chaque point. Je les appelle lignes principales de déformation.

2° Semblablement, de la réduction effectuée par M. Lamé, de toutes les forces élastiques distribuées autour d'un point à trois forces dites principales, agissant normalement sur trois éléments de surfaces perpendiculaires entre eux, et généralement déterminés, il résulte que dans tout milieu (solide, fluide ou pâteux, homogène ou non) il existe trois systèmes de courbes généralement déterminées, qui sont en chaque point tangentes aux directions des trois forces principales, et qui, par conséquent se coupent normalement en chaque point. Je les appelle lignes principales d'élasticité.

3° En général les lignes principales de déformation et d'élasticité sont distinctes; mais, dans le cas particulier d'un milieu homogène et d'élasticité constante dans toutes les directions, il est évident par raison de symétrie que ces deux systèmes de lignes se confondent.

Les trois propositions précédentes constituent des faits géométriques absolument généraux et indépendants des relations qui existent entre les forces et les déformations : il en est de même des propositions n°s 4, 5, 6, 7 et 9.

4° Désignons par l' l'' l''' les trois lignes principales de déformation ou d'élasticité existant dans un milieu, et soient en particulier l_0' l_0'' l_0''' les trois lignes qui se coupent en un point O. Si le lieu de toutes les lignes l'' qui rencontrent la ligne l_0''', et celui de toutes les lignes l''' qui rencontrent la ligne l_0'' constituent la même surface, cette surface rencontrera normalement en tous points les lignes l', et nous l'appellerons surface principale de déformation ou d'élasticité, suivant le système de lignes que nous aurons considéré :

Exemples : A. *Tractions ou compressions normales uniformes sur une ou plusieurs faces d'un parallélipipède.*

Il y a trois systèmes de surfaces principales d'élasticité : ce sont les plans parallèles aux trois faces.

B. *Torsion d'un cylindre à base circulaire, par un couple normal à son axe.*

Il y a un seul système de surfaces principales d'élasticité, ce sont les cylindres à base circulaire concentriques à celui qui forme la surface extérieure.

5° Dans tout milieu, toute surface libre (c'est-à-dire soumise à des efforts nuls), et toute surface soumise à des efforts normaux est une surface principale d'élasticité :

1. Nous renvoyons le lecteur au mémoire publié à ce sujet dans les comptes rendus des travaux de la Société : les déductions qui s'y trouvent seront utiles pour la lecture de ce nouveau travail.

Soit, par exemple, un corps très-mince représenté par une figure plane. Supposons que la ligne ab représente une surface libre de ce corps : il y a un des systèmes de lignes principales qui seront perpendiculaires à ab : ab sera l'une des lignes de l'autre système, ou bien leur enveloppe.

D'après cela, soit ab un prisme dont le plan médian est supposé être le plan du tableau et soumis à une flexion dans ce plan, les efforts tranchants sont nuls dans toute l'étendue des fibres extrêmes.

6° C'est le lieu d'ajouter, pour achever de faire connaître la répartition des efforts tranchants dans la section d'un prisme, que l'effort tranchant est égal en chaque point à l'effort de glissement longitudinal ;

7° Dans une pièce en treillis, pour que les divers brins ne travaillent que par traction ou compression (et qu'ainsi les rivets soient le moins fatigués possible), il faut évidemment que ces brins soient dirigés suivant les lignes principales.

Le treillis ne peut satisfaire à cette condition que si les forces appliquées sont constantes ou du moins constamment dans le même rapport. C'est ce que l'on peut admettre, par exemple, dans les poutres qui supporteraient un pont-canal, un réservoir d'eau ou une habitation. Si, au contraire, la répartition des charges est variable, le treillis doit être à *doubles mailles* ou du moins consolidé de manière à empêcher la déformation des mailles en parallélogramme.

8° Pour la détermination d'un treillis on peut, en général, calculer d'abord la poutre comme si elle était pleine, à la condition d'exprimer que la dilatation ou contraction transversale correspondante à l'effet de chaque force est nulle, ce qui revient à supposer la poutre pleine et formée d'un métal fictif dans lequel :

1° *On conserve au coefficient* E. *dit d'élasticité de traction, sa valeur réelle.*

2° *On assigne au coefficient* G, *dit d'élasticité de torsion (ou glissement) la valeur*

$$G = \frac{E}{2}.$$

La poutre pleine étant ainsi déterminée, on y trouvera les lignes principales d'élasticité et l'on distribuera le métal sur les brins du treillis qui sont dirigés suivant chaque système de lignes principales.

Il faut bien observer toutefois, qu'en opérant ainsi, l'on aura doublé tout le poids de la partie pleine que l'on aura transformée en treillis : c'est là un sujet de correction qu'il ne faut pas oublier, au moins dans les ponts à grande portée.

Sans entrer ici davantage dans tous les développements et dans l'indication des corrections que l'application de cette formule comporte, je dirai seulement que si l'on admet comme suffisamment exact le mode suivant de répartition des forces élastiques dans les sections planes :

1° Hypothèse de la résistance des matériaux. Savoir : Force de traction longitudinale $N_1 = ay + b$, a et b étant des constantes et y étant la distance du point considéré à la fibre moyenne.

2° Effort tranchant = effort de glissement longitudinal ;

La direction du treillis se trouve en chaque point entièrement déterminée.

9° Dans la théorie de la flexion l'hypothèse de la conservation des sections planes ne peut être vraie dès que les prismes que l'on considère sont soumis à un effort tranchant :

Néanmoins, cette belle et ingénieuse hypothèse sera toujours avantageuse à admettre tant que l'on n'aura pas quelque chose d'aussi simple et de plus rigoureux à lui

substituer. Il y a là une question qui n'est pas encore résolue; on ne sait pas en effet comment, dans la section d'un prisme soumis à un couple et une force donnés, se répartissent les forces élastiques qui équilibrent ce couple et cette force. Il y a aussi lieu de faire observer qu'en général on suppose nulle la réaction normale entre les fibres longitudinales, ce dont il est aisé de reconnaître l'inexactitude en considérant que cela fournit aux praticiens des résultats identiques pour deux poutres de pont dont l'une porte le tablier sur la lisse supérieure, et l'autre sur la lisse inférieure. Or, dans la première poutre les parties supérieures travaillent par compression suivant les deux sens, et les parties inférieures par extension dans un sens et compression dans l'autre; tandis que dans la deuxième poutre les parties supérieures travaillent par compression et extension, et les parties inférieures par extension dans les deux sens.

Probablement on arrivera à trouver la meilleure distribution des forces élastiques en cherchant celle qui correspond *au minimum du travail élastique nécessaire pour amener l'équilibration d'un système de forces donné*[1].

Ce minimum correspond : 1° pour le cas d'une *simple traction à l'égalité des tensions en tout point*; 2° pour le cas de *flexion par un couple, à la proportionnalité de la tension en chaque point, à la distance de ce point à la fibre moyenne;* c'est-à-dire à l'hypothèse admise dans la *résistance des matériaux.*

L'auteur montre ensuite, par divers exemples, que l'on peut reconnaître l'existence des lignes principales dans l'aspect de la cassure des solides, au moins lorsque ces cassures n'ont pas été produites par compression dans plusieurs, et parfois dans un seul sens; auxquels cas les ruptures s'effectuent le plus souvent par glissement.

M. Desmousseaux de Givré termine sa communication en déclarant que toutes ses propositions se peuvent démontrer par la plus simple géométrie[2], que cependant, il avait entrepris de rechercher la théorie analytique des lignes et surfaces principales, mais qu'il avait cru devoir y renoncer en apprenant que cette analyse se trouvait

1. Il s'agira de chercher sous les diverses conditions particulières le minimum de l'intégrale ci-après, qui exprime dans les notations de M. Lamé, le travail élastique :

$$\iiint \left(EF^2 - \frac{G}{\mu} \right) dx\,dy\,dz.$$

C'est ainsi que nous avons traité les cas de *traction simple et de flexion par un couple.*

Ne serait-il pas vrai, qu'en général, pour un milieu de forme et de nature quelconque, le minimum du travail nécessaire pour l'équilibration d'un système donné de forces extérieures correspond à *la répartition la plus constante possible des forces élastiques aux différents points?*

2. La démonstration des propositions n^{os} 1, 2, 3 et 4, est trop simple pour qu'il semble nécessaire d'en parler. La proposition n° 5 s'aperçoit immédiatement en examinant (soit au moyen de l'algèbre, soit au moyen de la pure géométrie), les conditions d'équilibre d'un tétraèdre $Oabc$ dont le sommet O est infiniment voisin de la surface S supposée soumise à des efforts nuls ou normaux dont la base *abc* est située sur cette surface, et dont les trois arêtes Oa, Ob, Oc, sont dirigées suivant les trois lignes principales d'élasticité passant au point O, en sorte que les trois faces Oab, Obc, Oca, ne sont soumises qu'à des efforts normaux (ou nuls) comme la base *abc.*

Tout ce qui concerne l'effort tranchant dans la flexion plane des prismes se déduit immédiatement des propositions générales 2 et 3, mais on peut aussi l'établir directement en

savamment établie par M. Lamé, dans un ouvrage publié en 1859, sous le titre de : *Leçons sur les coordonnés curvilignes et sur leurs applications.*

Dans cet ouvrage, auquel M. Desmousseaux de Givré renvoie le lecteur, M. Lamé a fait usage de la considération des surfaces principales d'élasticité qu'il appelle *surfaces isostatiques.*

M. Dallot fait observer que la théorie nouvelle de l'élasticité, repose sur l'hypothèse d'une homogénéité parfaite.

Il semble donc à craindre que cette théorie ne puisse être exactement appliquée aux poutres à treillis pour lesquelles la condition d'homogénéité est loin d'être remplie. Le rôle que jouent les rivets dans la répartition des efforts entre les diverses pièces d'une poutre en tôle est une nouvelle cause d'inexactitude.

Quant aux poutres entièrement pleines, telles que les poutres en fonte ou les poutres à double T en fer laminé, il résulterait des conclusions de M. Desmousseaux que les constructeurs qui placent une nervure longitudinale dans l'axe central de la pièce agiraient rationnellement, contrairement à ce que l'on avait pensé jusqu'à aujourd'hui. C'est un point qui demande à être examiné avec attention. Il serait certainement curieux que la répartition de l'effort tranchant conduisît à concentrer la matière dans la région de l'axe neutre, de même que la répartition des efforts de flexion conduisent à la concentrer aux points les plus éloignés de cet axe.

M. Desmousseaux de Givré répond qu'en effet il y a en général une différence essentielle entre une poutre pleine et la limite d'une poutre en treillis dont les mailles décroissent jusqu'à zéro, mais qu'il a tenu compte de cette différence en considérant la poutre pleine non comme formée du même métal que le treillis, mais comme formée d'un *métal fictif* pour lequel la contraction ou dilatation transversale serait nulle.

Il ajoute qu'il y a lieu de considérer dans ces matières trois ordres de faits :

1° Les faits géométriques qui sont incontestables;

2° Les faits statiques qui sont non moins incontestables et qui, seuls, ont servi à établir dans le présent mémoire l'égalité (en tous points d'un prisme) de l'effort tranchant et de l'effort de glissement longitudinal. Ces deux ordres de faits ne comportent aucune hypothèse sur l'homogénéité.

3° Les faits résultant de la relation entre les allongements et les efforts qui les produisent.

Quant à ce qui est des rivets, leur influence infirme moins la nouvelle méthode de calcul des treillis que la méthode ordinaire.

MM. Bixio, Delauney, Level, Michaud, Nordling, Simonin et Thirion ont été reçus membres sociétaires, et M. le Président de la Cᵉ du chemin de fer de l'Ouest, membre associé.

considérant les conditions d'équilibre d'un carré infinitésimal dont deux côtés sont dirigés suivant les fibres longitudinales.

Cette même considération du carré ou cube infinitésimal peut servir à démontrer la proposition n° 5 : on placerait l'une des faces de ce cube sur la surface S supposée soumise à des efforts nuls ou normaux.

La proposition n° 6 résulte encore immédiatement des équations d'équilibre posées par M. Lamé et c'est ainsi que nous l'avons aperçue.

Séance du 3 Février 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la dernière séance.

Le procès-verbal est lu et adopté.

A l'occasion de l'exposé fait par M. Goschler, M. Nozo, qui avait bien voulu se charger d'examiner les croquis et documents remis par M. Goschler, demande à consigner à la suite du procès-verbal de la séance du 20 janvier les observations qu'il croit devoir ajouter pour compléter l'historique qu'il a déjà présenté.

M. Nozo fait observer que la communication faite dans la dernière séance, par M. Goschler, si intéressante qu'elle soit, ne paraît cependant pas devoir être insérée dans le Bulletin, sans donner lieu à quelques observations, qui pourront mettre en garde l'expérimentateur, M. Riggenbach, ingénieur en chef de la traction au chemin de fer central suisse, contre un trop facile entraînement à tirer d'un fait des conséquences qui ne peuvent pas logiquement en être déduites.

Il semble évident que les avantages de la forme donnée aux échappements et aux cheminées des locomotives ne peuvent être sérieusement formulés par une économie de combustible, réalisée d'une année à l'année suivante.

Il est bien difficile, en effet, d'affirmer qu'il ne se sera présenté, dans le service, pendant une semblable période, aucune circonstance ayant pu influer sur la consommation, en dehors de la modification apportée. Le tonnage des trains; la proportion des parcours haut le pied et des manœuvres; le nombre des heures de stationnement ou de réserve; la qualité des combustibles; les soins et l'expérience dans la conduite des locomotives, etc., sont autant de choses variables et qui peuvent amener dans la consommation moyenne, des différences d'un ordre plus élevé que celle relatée dans la communication.

En thèse générale, l'économie dans la consommation du combustible résume toutes les améliorations et même toutes les modifications introduites, non-seulement dans le service des locomotives, mais encore dans celui des voitures et wagons. Un meilleur état du matériel, un graissage plus parfait des véhicules, une expérience plus grande des mécaniciens, une amélioration dans la qualité du combustible, etc., etc.; sont autant de choses qui concourent, *à la fois*, à un abaissement de consommation.

Donc, sans nier, *a priori*, l'influence de la forme donnée aux cheminées par M. Riggenbach, sur la consommation, M. Nozo croit cependant qu'il est bon de n'attacher qu'une importance secondaire aux résultats que M. Goschler a bien voulu communiquer.

Pour trouver dans les faits exposés un enseignement nouveau certain, il eût fallu que l'expérimentateur éliminât toutes les influences étrangères aux cheminées qui peuvent modifier la consommation.

Parmi les expériences, si pleines d'intérêt, que M. Petiet fait faire au chemin de fer du Nord, et dont les premiers résultats ont déjà été publiés dans un mémoire rap-

pelé par M. Goschler, se trouvent comprises celles faites sur l'influence de la forme évasée des cheminées et aussi celles sur les échappements multiples.

Si ces expériences n'ont pas été consignées dans le mémoire déjà publié, c'est qu'elles n'ont pas paru assez multipliées pour en tirer des conséquences suffisamment rigoureuses. Néanmoins, nous pensons que les chiffres recueillis tels qu'ils sont, peuvent jeter un certain jour sur la question ; nous les donnons donc en attendant mieux avec l'indication des conditions dans lesquelles se sont faites les expériences.

Expériences du 5 juin 1864. — En se rapportant à la figure 1 de la planche 32 des mémoires de 1864 : supposons montées successivement sur la boîte A, deux cheminées d'expérimentation, l'une cylindrique de $0^m,050$ de diamètre, et l'autre conique, ayant $0^m,050$ de diamètre à la base et $0^m,080$ au sommet; toutes deux ayant une hauteur de $0^m,400$ égale à huit fois le diamètre d'après la loi résultant d'expériences antérieures.

Voici les résultats obtenus dans les deux cas :

DURÉE de l'expérience en minutes.	PRESSION génératrice de l'écoulement de la vapeur en millim. de mercure.	Dépression en $^m/_m$ d'eau dans la boîte A.		Température des gaz.		Nombre de tours de l'anémomètre.		Observations.
		Cheminée cylindrique.	Cheminée conique.	Cheminée cylindrique.	Cheminée conique.	Cheminée cylindrique.	Cheminée conique.	
2	300	191	145	114°	112°	605	530	
2	200	135	108	112	113	506	460	
2	100	69	55	110	107	475	371	

La cheminée conique a donc fourni un moindre effet utile que la cheminée cylindrique. Cette infériorité se serait-elle maintenue avec d'autres relations de diamètres à la base et au sommet? — C'est ce que les expériences n'ont pas éclairci. Quant à l'effet produit par l'évasement à la base, les expériences déjà publiées ont montré qu'il était sans importance sensible.

Passant ensuite aux résultats espérés par M. Riggenbach, de l'emploi des *échappements multiples*, les expériences faites au chemin du Nord, M. Nono indique encore ce qu'on peut en espérer.

Sur une même locomotive à marchandises, système Engerth, on a successivement monté trois échappements différents :

1° Un échappement à orifice variable, dit *échappement à valves* ;

2° Un échappement à orifice circulaire unique constant, dit *échappement fixe* ;

3° Un échappement à quatre orifices circulaires constants, dit *échappement multiple*.

La machine était à poste fixe dans l'atelier ; la cheminée et la position de l'orifice d'échappement sont restées dans les mêmes conditions pour les trois expériences.

L'échappement avait été mis en communication avec le régulateur, de manière à y conduire directement la vapeur de la chaudière.

La section d'échappement, adoptée dans les trois cas, était celle avec laquelle les machines fonctionnent en service régulier soit égale à 113 centimètres carrés.

Voici les résultats obtenus :

INDICATION DES OBSERVATIONS RECUEILLIES.	ÉCHAPPEMENT à valves.	ÉCHAPPEMENT FIXE. à orifice unique.	ÉCHAPPEMENT FIXE. à quatre orifices.
Pression moyenne dans la chaudière.....	7 atm.	7 atm.	5 3/4 atm.
Pression moyenne dans le tuyau d'échappement en m/m de mercure.....	107 m/m	105 m/m	120 m/m
Dépression moyenne dans la boîte à fumée en m/m d'eau.....	50 m/m	50 m/m	52 m/m
Dépression moyenne dans la boîte à feu en m/m d'eau.....	35 m/m	38 m/m	40 m/m
Température dans la boîte à fumée en degrés centigrades.....	264	271	257
Consommation d'eau par heure en litres....	4062	4000	4484
Consommation de coke par heure en kilog..	552	624	582

De ce tableau ressortent les faits suivants :

1° Avec l'échappement multiple, il n'a pas été possible de maintenir la pression dans la chaudière, au même point qu'avec les deux autres échappements.

2° A une même dépression dans la boîte à fumée correspond, pour l'échappement multiple, une pression plus forte dans le tuyau d'échappement.

3° L'échappement multiple a donné des résultats inférieurs aux deux autres.

4° A égalité de pression, l'échappement fixe semble devoir donner des résultats supérieurs à l'échappement à valves.

M. le Président rappelle que M. Perdonnet, président honoraire, a fait la fondation d'un prix exceptionnel que la Société des Ingénieurs civils, dans la séance du 21 octobre 1864, a accepté par acclamation en votant des remercîments à M. Perdonnet. Dans sa lettre, le fondateur avait annoncé qu'il soumettrait à l'approbation de la Société un programme qu'elle étudierait. M. Perdonnet a en effet vers le commencement de décembre communiqué son programme, et le comité, régulièrement saisi, a nommé pour l'examiner une commission composée de MM. Perdonnet, président honoraire; Forquenot, président de la commission spéciale, et MM. Chobrzynski, Love, Mayer, Petiet, Vuillemin et Tresca, rapporteur.

Après avoir discuté le programme dans plusieurs séances, on a d'un commun accord accepté la rédaction dont M. le président fait lecture. Pour donner immédiatement la publicité nécessaire, M. le président propose d'imprimer le programme tel qu'il est dans le compte rendu de la séance.

Prix fondé par M. Perdonnet, *président honoraire de la Société, pour des expériences à faire sur les chemins de fer.*

Le prix consiste en une médaille de la valeur de 2,000 francs. Il sera décerné au meilleur mémoire qui aura fait connaître les résultats d'expériences nouvelles, entreprises par les concurrents, au point de vue de l'art de l'Ingénieur, sur l'une ou plusieurs des questions comprises dans le programme suivant :

Déterminer, par des expériences multipliées, la résistance des véhicules et des

machines locomotives à la traction sur chemin de fer, en tenant compte de toutes les circonstances qui peuvent les modifier, telles que : l'état des rails, des véhicules et des machines; l'intensité et la direction du vent; la surface des wagons, la longueur des trains; les dimensions des fusées et des roues; l'écartement des roues; la nature de la graisse ou de l'huile employée; la température, le mode d'attelage, le mode de chargement, le système de construction des machines; les frottements du mécanisme, l'accouplement des roues, l'échappement et le tirage, les pentes et les courbes, etc.

Déterminer séparément l'influence due à chacune des circonstances ci-dessus mentionnées.

Analyser les causes qui, dans les courbes, modifient la résistance, soit pour un véhicule isolé, soit pour une série de véhicules, contrôler le raisonnement par l'expérience.

Trouver par l'expérience une formule pratique pour calculer la charge que peut traîner une machine locomotive de forme et de dimensions connues, en tenant compte de l'adhérence et des autres conditions importantes.

Étudier les circonstances qui modifient la production de la vapeur par mètre carré de surface de chauffe, telles que : la position des parois par rapport au foyer; l'épaisseur des tôles; l'écartement des tubes, etc., etc.

Déterminer les résistances opposées au passage de la vapeur de la chaudière dans la boîte du tiroir, et de celle-ci dans le cylindre; déterminer la différence de pression de la vapeur dans la chaudière et dans le cylindre dans différentes conditions.

Rechercher l'influence de l'eau entraînée avec la vapeur sur ces différences de pression.

Examiner les causes qui influent sur la contre-pression.

Déterminer l'influence sur le tirage des dimensions de l'orifice d'échappement, de la pression et de la vitesse de sortie de la vapeur, et des dimensions de la cheminée.

Examiner les résistances qu'éprouve l'air dans son passage du foyer à la cheminée.

Conditions générales du concours :

1° Les mémoires et dessins destinés au concours seront adressés au secrétariat de la Société des Ingénieurs civils, rue Buffault, n° 26, à Paris.

Ils devront être remis avant le 1er mai 1867; ce terme est de rigueur.

2° Les mémoires seront écrits en français, et toutes les mesures devront être indiquées d'après les unités du système métrique.

3° Les mémoires seront examinés par une commission composée du président alors en exercice de la Société des Ingénieurs civils et de huit membres spécialement élus dans la séance générale de décembre 1866.

4° Les membres de la commission et les vice-présidents de la Société des Ingénieurs civils pour 1867 sont seuls exclus du concours.

5° Les étrangers sont admis à concourir comme les nationaux, qu'ils fassent ou non partie de la Société des Ingénieurs civils.

6° Les mémoires reçus au 1er mai 1867 seront remis aussitôt par le président à la commission ci-dessus désignée; elle se trouvera dès lors chargée de l'examen de ces mémoires dans la forme qui lui paraîtra la plus convenable pour le but à atteindre.

7° La commission pourra demander, si elle en reconnaît l'utilité, d'assister à quelques-unes des expériences principales énoncées par les concurrents, à l'effet d'en contrôler les résultats.

8° La commission décidera souverainement à la majorité absolue des suffrages : 1° S'il y a lieu de décerner le prix; 2° dans l'affirmative elle désignera celui des concurrents auxquels le prix sera décerné.

9° Elle rédigera un rapport détaillé de ses opérations et de son examen des mémoires présentés. Ce rapport sera remis, avant le 1er août 1867, au comité qui aura à prendre les mesures nécessaires pour la remise du prix, ou, en cas de décision négative de la commission, pour proroger le délai du concours.

10° Le rapport de la commission sera publié *in extenso* dans les comptes rendus de la Société.

11° La Société se réserve expressément le droit de publier, en tout ou en partie, selon qu'il lui paraîtra convenable de le faire, les mémoires qui lui auront été présentés.

12° Elle conservera comme lui appartenant les mémoires et les dessins originaux des concurrents; mais elle permettra aux auteurs d'en prendre copie, elle leur rendra leurs modèles et appareils, s'il en a été produit.

13° La médaille sera remise à l'auteur ou aux auteurs du mémoire auquel le prix aura été accordé, sans que la valeur en puisse, pour aucune raison, être partagée entre plusieurs des mémoires présentés au concours.

Après cette lecture, M. le Président met aux voix la rédaction de ce programme pour faire titre lors de la proclamation du prix.

M. Yvert fait observer que le programme présenté par le comité pour le prix offert par M. Perdonnet demanderait à être mûrement examiné, et propose de renvoyer à la prochaine séance le vote sur l'adoption de la rédaction.

M. le Président répond que le vote émis par la Société, dans sa séance du 21 octobre 1864, implique l'acceptation en principe du prix proposé, que le comité, après avoir apprécié les intentions du fondateur du prix et les avoir discutées avec le plus grand soin, a nommé une commission pour poser les bases du concours à ouvrir et en établir le programme. Cette commission a tenu plusieurs séances, M. Perdonnet a bien voulu y assister, et, après des concessions mutuelles, on est arrivé à la rédaction du programme qui a été approuvé par le comité et qui vient d'être soumis à la Société. Ce programme ne saurait aujourd'hui être modifié sans l'assentiment du fondateur. Il serait fâcheux, par une nouvelle discussion, de remettre en question des points sur lesquels ni la commission ni le comité ne pourraient accepter, sans l'autorisation de M. Perdonnet, aucune modification, et de retarder ainsi l'ouverture de ce premier concours. Il semble donc désirable que la Société approuve simplement par son vote le programme présenté par le comité.

Le programme est mis aux voix et adopté.

M. le Président annonce que M. Léon Foucault, membre de la Société, vient d'être nommé membre de l'Institut.

Les travaux de M. Foucault sont trop connus pour qu'il soit nécessaire d'insister sur les titres de cet ingénieur à l'insigne honneur que l'Académie des sciences vient de lui accorder en l'admettant dans son sein.

M. le Président a le regret d'apprendre à la Société la perte qu'elle vient de faire de deux de ses membres, MM. Bousson et Bordet.

M. Bousson a été ingénieur des chemins de fer de la Loire, et en dernier lieu il était ingénieur conseil attaché à plusieurs Compagnies industrielles.

M. Bordet a été ingénieur directeur du chemin de fer de Paris à Versailles, rive gauche, faisant l'interim, jusqu'au moment où M. Petiet a dirigé cette ligne. De là, il fut employé par M. Seguin frères à la construction du chemin de fer de Montereau à Troyes.

L'ordre du jour appelle ensuite la discussion sur le frein de M. Castellvi.

M. Brull rappelle l'observation qu'il a eu l'honneur de présenter à la dernière séance sur le mode impératif employé par le gouvernement espagnol pour recommander aux Compagnies de chemins de fer l'application de l'invention de M. Castellvi. Il désire aujourd'hui, en étudiant l'appareil en lui-même, permettre à la Société de reconnaître jusqu'à quel point ce gouvernement a eu la main heureuse dans le choix de cette invention.

Rappelons d'abord en quelques mots les parties essentielles dont se compose le frein de M. Castellvi. Sur l'un des essieux de la voiture est calé un cône de friction. Un second cône, dont l'arbre est vertical, peut être élevé ou abaissé le long de cet arbre à l'aide d'un mouvement d'embrayage mis à la disposition du garde-frein. On peut ainsi à volonté amener les deux roues coniques en contact. L'arbre vertical porte deux roues d'angle dentées dont on peut embrayer l'une ou l'autre à l'aide d'un second mécanisme. Une troisième roue conique, à arbre horizontal longitudinal engrenant avec les deux premières, peut ainsi recevoir un mouvement de rotation toujours dans le même sens, quel que soit le sens de la rotation de l'essieu, que la voiture marche en avant ou en arrière.

Ce mouvement de rotation est transmis par deux jeux successifs d'engrenages à un arbre horizontal régnant sous le châssis du wagon dans toute sa longueur.

Cet arbre porte une vis dont l'écrou est relié à un levier transversal qui produit par des tringles de traction le serrage des sabots contre les jantes de la seconde paire de roues. Une autre transmission à engrenages permet le desserrage du frein, à l'aide d'un volant à manivelle ordinaire.

Nous ne décrirons pas deux mécanismes supplémentaires, composés de divers cônes de friction, pignons, engrenages, crémaillères, etc., et dont le but est de compter la distance parcourue, et de donner la mesure de l'écartement entre les sabots et les bandages.

Telle est la machine-frein de M. Castellvi. Elle se place à l'arrière du train, les wagons qui précèdent, portent des arbres longitudinaux à vis, actionnant les quatre sabots, et reliés par des joints universels à l'arbre principal de la machine-frein. D'après la brochure de l'inventeur, huit wagons pourraient ainsi être mis en communication avec le frein moteur.

Si l'on a pu saisir la description de ces mécanismes extrêmement compliqués, on voit qu'en résumé l'invention repose sur deux principes : l'utilisation de la puissance vive d'une des paires de roues du train pour la manœuvre du frein et la transmission mécanique de cette action d'un wagon à l'autre.

Nous montrerons que ces deux principes ont été vingt fois appliqués, et que généralement leur application, quoique bien plus heureusement étudiée qu'elle ne l'est dans l'appareil nouveau, n'a pas conduit à de bons résultats.

M. Nozeda essayait, en 1843, sur le chemin de fer d'Orléans, un frein dont le serrage était obtenu d'une manière fort simple par la rotation de l'un des essieux. Cet essieu portait un pignon d'engrenage, une crémaillère était soutenue à une certaine hauteur au-dessus de l'essieu et venait par son propre poids, lorsqu'on l'abandonnait

à elle-même, reposer sur le pignon. Un mécanisme fort simple transmettait le mouvement de la crémaillère aux sabots du frein.

La crémaillère fut plus tard remplacée par une chaîne à la Vaucanson qui engrenait avec un second pignon monté sur l'arbre de commande des sabots. On employa aussi une poulie de friction sur laquelle une seconde poulie à châssis mobile venait reposer par son propre poids, dès qu'on déclanchait l'appareil.

Il y a une quinzaine d'années M. Clément, au chemin de fer de l'Ouest, plaçait un fort pas de vis au milieu du corps de l'essieu : un levier longitudinal était soutenu au-dessus de cette vis, et par simple chute venait se placer dans le premier filet. La rotation de l'essieu imprimait alors au bout de ce levier un mouvement transversal qui était transmis aux sabots du frein.

Dans le *frein du curé*, qui est aussi fort ancien, des galets pressés contre la face intérieure des bandages faisaient manœuvrer les sabots du frein.

MM. Penaud, conducteur des ponts et chaussées à Angoulême, et Gazel, fondeur à Cognac, ont aussi pris sur l'essieu du wagon la force vive nécessaire pour opérer le serrage des freins. Ils opéraient à l'aide d'une vis pratiquée sur le corps de l'essieu et engrenant avec un pignon dont l'arbre portait lui-même deux vis sans fin. Des pignons commandés par ces vis donnaient le mouvement aux sabots.

Nous pourrions multiplier cette énumération et citer un très-grand nombre de freins dont le moteur est l'une des roues du wagon. On a aussi calé sur l'essieu un excentrique dont la barre actionne soit une pompe hydraulique, soit une pompe à air, soit un appareil aspirant (système Dutremblay). En mettant en fonction ces appareils par un jeu de robinets, on serre les sabots du frein.

Mais passons au principe de la communication du mouvement des freins d'un wagon à l'autre.

En dehors des communications électriques, des tuyaux à eau, à vapeur, à air, nous trouvons bon nombre de communications par transmissions mécaniques. La plupart des freins que nous venons de citer se manœuvraient de la machine. Divers systèmes de leviers, de tringles et de chaînes permettaient cette transmission. La corde des chemins bavarois remplit le même but.

Enfin, le chemin de fer du Nord emploie depuis fort longtemps les freins conjugués *du système* Newall, dans lesquels des arbres longitudinaux sont reliés l'un à l'autre dans leur mouvement de rotation tout en pouvant jouer l'un par rapport à l'autre comme l'exigent les mouvements relatifs des wagons. C'est, à quelques détails près, la solution même de M. Castellvi.

Ainsi, on le voit, on a bien des fois appliqué, et de bien des façons, les principes sur lesquels repose le frein de M. Castellvi.

Voyons maintenant si ces principes sont justes et si l'on peut espérer de leur mise en pratique des résultats avantageux.

Pour prendre sur l'essieu en mouvement le travail nécessaire pour actionner les freins, il faut nécessairement mettre en contact des pièces inertes avec d'autres animées d'un mouvement très-rapide. Il y a là une cause de rupture et de détérioration à laquelle on pourra d'autant moins soustraire le mécanisme qu'il sera plus compliqué. La combinaison de M. Castellvi pèche extraordinairement sous ce rapport. Il est certain que les nombreux rouages de sa transmission ne résisteront pas longtemps.

Avec cette combinaison il eût été difficile de laisser à l'essieu, par rapport au véhicule, les mouvements que permet d'ordinaire l'élasticité des ressorts. M. Castellvi a

simplement supprimé les ressorts de suspension. Nous en jugeons du moins d'après le dessin assez imparfait qui accompagne la brochure, et qui ne représente pas de ressort. Il est clair que la suppression de toute élasticité accélérera l'usure de l'appareil et rendra les accidents plus fréquents.

D'un autre côté, pour que le mouvement de l'essieu se communique aux divers freins accouplés et puisse produire le calage des roues, il faut presser le cône de friction mobile sur le cône de friction de l'essieu avec une force suffisante pour que l'adhérence développée atteigne une certaine valeur que l'on peut calculer dans chaque cas donné. Or, on trouve en faisant ces calculs, des pressions que le garde-frein ne pourrait certes pas produire à l'aide du mécanisme d'embrayage qui lui sert à rapprocher les deux cônes. Il semble donc difficile que l'on puisse, comme le prétend la brochure, caler les roues de 4, 6 ou 8 wagons sans serrer avec la manivelle à la façon ordinaire.

La paire de roues motrices ne porte pas de sabots, elle continue donc à tourner alors que la seconde paire de roues est déjà calée. Le cône de friction de l'essieu continue à tourner sur l'autre cône réduit au repos, et il doit arriver nécessairement que la jante du premier se polira, tandis que des plats se formeront sur celle du second, deux effets également fâcheux pour le service ultérieur de l'appareil.

Quant au principe de la transmission, il a aussi ses inconvénients. Supposons, en effet, qu'à un moment donné, les sabots des divers wagons accouplés serrent sur les jantes des bandages avec un ensemble parfait; il arrivera que, l'usure se répartissant inégalement, ou le groupe de wagons étant modifié par les nécessités du service, cette parfaite concordance sera troublée. Alors, dès que l'un des sabots du groupe sera calé à fond sur la jante, les arbres à vis seront arrêtés dans leur rotation, et les autres sabots ne pourront être serrés. On croira avoir à sa disposition quatre freins par exemple, alors que l'on n'en pourra serrer convenablement qu'un seul.

Tel est, en dehors des sujétions de service, le principal inconvénient de la liaison des véhicules.

Pour éviter cet inconvénient, le chemin du Nord, qui emploie depuis plusieurs années avec succès les freins Newall, conserve toujours dans le train le même groupement de voitures, de sorte que les trois ou quatre véhicules reliés entre eux forment comme une seule voiture qui va d'un bout à l'autre de la ligne, sans que jamais on la décompose en ses parties. C'est une sujétion d'exploitation à laquelle on ne peut consentir que dans des cas particuliers.

Les divers rapports dressés par les ingénieurs espagnols sur le frein de M. Castellvi sont tous sur le ton admiratif; ils relatent avec emphase les résultats de quelques expériences peu décisives; ils laissent percer à chaque ligne la satisfaction de devoir à un compatriote une invention aussi avantageuse au bonheur de l'humanité. Le résultat dont on félicite le plus l'inventeur, c'est « qu'avec cet appareil les trains sont soumis à la volonté du chef qui les conduit, puisqu'il peut, toutes les fois qu'il le jugera nécessaire, modérer leur marche et les arrêter, indépendamment de l'action de la machine, et sont par ce fait subordonnés comme il convient audit chef responsable. »

Ainsi, c'est le garde-frein qui, de sa guérite, à l'insu du mécanicien, devra surveiller et règler la marche du train.

Les rapports officiels trouvent aussi fort avantageuse la liaison établie entre les wagons, et ouvrent une campagne contre le frein automoteur de M. Guérin, qui n'emploie pas cette liaison.

M. Guérin, notre collègue, aurait désiré venir défendre devant la Société son invention si rudement attaquée, mais il est retenu au lit par la maladie, et n'a pu se rendre à la séance.

Il est remarquable que les points sur lesquels les rapports espagnols se montrent le plus satisfaits sont justement en opposition avec les principes généralement admis aujourd'hui en matière de freins.

Pour édifier la Société à ce sujet, nous citerons quelques lignes du rapport si souvent invoqué, et presque classique, de MM. Piobert, Combes et Ch. Couche (1856) sur le frein automoteur de M. Guérin.

« Avec le frein automoteur, le mécanicien, seul à même d'apprécier le degré d'ur-
« gence de l'arrêt, applique seul aussi, comme il l'entend, les moyens mis à sa dis-
« position exclusive. Ces moyens, il connaît par expérience leur étendue; il sait sur
« quoi il peut compter avec eux, et il agit en conséquence, tandis que le frein à
« bras n'est pour lui qu'un élément variable, incertain, sur lequel il n'a qu'une ac-
« tion indirecte et précaire.

« Ajoutons que le partage de la responsabilité en ce qui concerne une mesure
« aussi importante, dans certains cas, que l'application des moyens d'arrêt, est par
« lui-même un grave inconvénient. »

.....

« Tous les systèmes proposés dans ces dernières années pour agir sur toutes les
« roues sont fondés sur l'établissement d'une transmission de mouvement générale,
« réglant l'application du travail qui produit le serrage. Que ce travail soit emprunté
« à la force vive des parties animées d'un mouvement de rotation, ou à la vapeur de
« la chaudière, ou à la gravité; que la transmission soit formée d'un courant vol-
« taïque, de conduites de vapeur, d'une corde passant sur des moufles, de leviers et
« tringles articulés, etc., etc., sous quelque forme qu'elle se présente, en un mot,
« l'application de ce principe a toujours, à des degrés divers, d'ailleurs, un double
« inconvénient : elle complique la formation et la décomposition des trains, et elle
« exige un attirail sujet à se déranger et à se rompre. Que la transmission, quelle
« que soit sa nature, vienne à se trouver en défaut vers la tête, tous les moyens
« d'arrêt sont paralysés. Il nous paraît impossible d'accorder quelque confiance à
« un principe qui peut conduire à une pareille conséquence. »

Nous attirerons, en terminant, l'attention de la Société sur l'extrême complication du système de M. Castellvi, sur la grande difficulté des manœuvres qui présente même des chances de confusion et d'erreur, sur le poids et le prix de l'appareil qui sont hors de proportion avec ceux des divers freins communément employés, et nous conclurons de ce long exposé qu'il est peu probable qu'on puisse jamais tirer aucun parti sérieux du frein de M. Castellvi dans la pratique des chemins de fer.

Un Membre fait remarquer que l'inégalité dans le fonctionnement des sabots des freins conjugués ne peut être à craindre qu'au début du fonctionnement de l'appareil. L'usure du bois se produisant en effet sur les sabots qui portent les premiers tendra à les égaliser et à faire disparaître ce défaut.

M. Nozo a constaté qu'il n'en était pas ainsi dans la pratique, et que le contraire se présentait même le plus souvent, c'est-à-dire que les sabots qui étaient un peu trop minces, et qui portaient le moins bien sur les jantes, sont ceux qui s'usent le plus vite.

M. Brüll, sans tirer parti de l'intéressante observation de M. Nozo, répond que l'égalisation ne pourrait se produire que si le groupe de wagons se composait invariablement des mêmes véhicules. C'est surtout en vue du changement que les nécessités du service apportent dans les groupes de wagons conjugués qu'il faut craindre l'inégalité de serrage des divers sabots.

M. Bricogne désire redresser une erreur que M. Brüll a commise à propos du frein Newall. Il n'est pas exact de dire que les voitures sur lesquelles ce frein est appliqué au chemin de fer du Nord soient toujours groupées ensemble invariablement. Elles sont parfaitement indépendantes, et voici par quels moyens fort simples on obtient ce résultat. Avant d'accoupler les arbres des freins, on amène tous les sabots au contact des jantes, on accouple alors les arbres, et on desserre le frein moteur, ce qui écarte tous les sabots de la même quantité; le frein de chaque voiture est établi d'une façon spéciale en raison du poids du véhicule, mais dans tous les freins un tour de l'arbre produit la même course des sabots; on est donc bien certain qu'au moment de l'emploi l'arbre général faisant un certain nombre de tours, le même pour chaque voiture, tous les sabots feront le même chemin, et comme ils sont tous également écartés de la roue, ils la pressent tous en même temps.

Moyennant ce réglage au départ, les freins Newall donnent de bons résultats sur le chemin du Nord, où ils sont d'un emploi courant, et M. Bricogne, tout en abandonnant les appareils de M. Castellvi aux critiques qui viennent d'en être faites, ne saurait abandonner avec la même facilité l'accouplement Newall qui donne toute satisfaction. Il pense que cette partie des appareils de M. Castellvi, étant à peu près calquée sur l'invention de M. Newall, pourra réussir dans les mêmes conditions.

M. Forquenot explique comment il se fait que l'usure du service ne produise pas le réglage des sabots. Ceux qui sont les plus épais portent les premiers et calent les roues, tandis que les autres, appuyant moins sur les jantes, laissent tourner la roue et s'usent ainsi davantage. Pour cette cause, on recherche, même dans les freins agissant sur une seule voiture, l'indépendance des sabots, que l'on obtient aisément à l'aide de dispositions fort simples.

M. Forquenot ne pense pas que le réglage au départ, que vient d'expliquer M. Bricogne, suffise à procurer un égal serrage pour tous les sabots. On arrive bien ainsi à un contact géométrique simultané, mais les inégalités que présentent toujours la dureté des bois, l'état des surfaces du sabot et du bandage, la flexion ou le jeu des diverses pièces de l'appareil, doivent toujours entraîner d'assez fortes différences dans l'action des divers sabots du groupe de freins, et une perte considérable sur la somme d'action du groupe. D'ailleurs, l'opération du réglage paraît être assez compliquée et délicate.

M. Mayer insiste sur ce point de vue, et pense que le réglage, qui paraît une précaution indispensable au bon fonctionnement des freins conjugués exige des ouvriers spéciaux et demande des précautions difficiles à obtenir dans le service courant d'un chemin de fer.

M. Bricogne ne peut voir là qu'une simple question d'administration facile à résoudre. Il est clair que si les freins sont mal attelés, ils ne sauraient bien fonctionner; mais il en est de même de bien d'autres opérations bien plus difficiles, qui doivent être faites avec soin et régularité.

M. Callon, examinant cette question de principe, pense que cette condition d'exiger

certaines précautions, même si une bonne organisation du service peut en assurer l'exécution, constitue en général pour un appareil une sérieuse infériorité. On a vu souvent des machines savamment étudiées, marchant bien le jour de l'expérience, et mises plus tard au rebut pour de simples causes de ce genre.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Morandière s'il n'a pas, dans l'étude qu'il a entreprise sur le frein Castellvi, quelques observations nouvelles à présenter sur la question.

M. NOZO appelle en particulier l'attention de M. Morandière sur ce fait que les freins calés par des moyens mécaniques sont quelquefois si fortement pressés contre les roues, que le garde-frein n'a plus la force nécessaire pour les décaler.

M. MORANDIÈRE pense que cet inconvénient, qui se produit, en effet, dans quelques appareils par suite de la puissance vive considérable acquise par les pièces lors du serrage, a été prévu par M. Castellvi; la disposition d'embrayage qu'il indique paraît permettre d'arrêter en temps utile le mouvement des pièces du frein et de graduer à volonté le serrage des sabots. Il ajoute que chaque frein du système Newall est pourvu d'un poids disposé de façon à presser légèrement les sabots contre les jantes. Ce n'est donc pas seulement la simultanéité du contact géométrique que l'on assure par le réglage au départ, mais bien la simultanéité d'un serrage d'une même intensité pour tous les freins.

M. MORANDIÈRE relève une des inexactitudes du mémoire de M. Castellvi; c'est celle qui se trouve dans le calcul du chemin parcouru par le train avant le calage des freins. Ce calcul suppose que les deux cônes de friction roulent l'un sur l'autre en développant des arcs égaux, or, il est clair que le cône calé sur l'essieu ne communiquera pas instantanément toute sa vitesse au second cône, et qu'il y aura là un glissement qu'il n'est pas permis de négliger, surtout après que les jantes se seront polies par le service. Il est donc à craindre que le calage des roues ne soit pas aussi rapide que les calculs le montreraient.

Quant à la mise entre les mains du chef de train des éléments de sécurité du train, ce principe peut être à la mode en Espagne, mais n'est pas admis en France où le mécanicien doit seul pouvoir disposer de la marche. Le frein Newall étant un frein à déclanchement peut être manœuvré de la machine et permet ainsi l'application de ce principe.

M. MORANDIÈRE a constaté bien des fois les bons services de freins Newall dans un train express, généralement composé de la machine, du tender, de six voitures dont trois à frein Newall; en serrant le frein du tender et celui récemment appliqué par M. Petiet sur les machines, en déclanchant en même temps le frein Newall, le mécanicien a produit en quelques secondes le glissement sur les rails des quatre cinquièmes du poids du train.

M. TARDIEU ajoute quelques considérations relatives à l'exploitation. Il ne pense pas qu'on puisse retirer grand profit d'une disposition permettant à un seul ouvrier de serrer plusieurs freins. Le service des trains exigeant plusieurs hommes, ces hommes ne pourront être supprimés.

M. FORQUENOT pense que l'on peut conclure de cette discussion que le frein Castellvi ne peut évidemment pas s'appliquer au service des marchandises où il est impossible de s'astreindre à aligner dans un ordre obligatoire quatre ou cinq wagons, qu'ils soient ou non chargés de marchandises. Il ne paraît guère plus propre au service des voyageurs dont il ne garantit pas suffisamment la sécurité. C'est donc un appareil plutôt

théorique que pratique, qui a bien pu donner dans quelques essais bien préparés, des résultats intéressants que tant d'autres inventions inapplicables ont donnés pendant l'expérimentation, mais qu'il ne paraît pas appelé à jamais prendre place dans la pratique des chemins de fer.

M. Bricogne ne pense pas qu'on puisse conclure comme vient de le faire M. Forquenot. Sans vouloir défendre en aucune façon la partie de l'appareil qui est plus particulièrement de l'invention de M. Castellvi, il rappelle que cette invention renferme deux parties : l'appareil moteur et la connexion. Sur la seconde partie, il ne peut partager l'opinion de M. Forquenot, car la connexion qui n'appartient nullement à M. Castellvi, et qui a été inventée depuis plus de quinze ans par M. Newall et importée par lui en France sur le chemin de fer du Nord y rend de grands services.

M. Forquenot reconnaît que ce mode d'accouplement peut bien être appliqué à certains trains de nature spéciale qui se décomposent rarement comme les trains de banlieue ou les trains express, mais qu'on ne saurait concevoir l'application un peu large d'un pareil principe aux quinze mille véhicules qui composent le matériel d'une grande compagnie. Ce ne serait pas praticable. N'y aurait-il que la circulation sur les chemins d'une compagnie du matériel des autres compagnies, qu'on devrait pour ce seul motif repousser l'emploi général du principe de la connexion.

M. Bricogne pense que si un genre de frein est d'un emploi avantageux sur une certaine portion du matériel roulant d'un chemin de fer, il faut le conserver et ne pas faire au système un crime de ne pouvoir s'appliquer à la masse du matériel. Cette généralisation n'est pas nécessaire et l'application au matériel à voyageurs est assez importante par elle-même pour lui consacrer un appareil spécial.

M. Forquenot fait encore remarquer que les voitures à voyageurs devant entrer souvent sur bien des lignes dans la composition des trains mixtes, cette considération s'oppose à l'emploi un peu étendu des freins conjugués, même sur les voitures. L'application de ce principe se trouve donc en définitive extrêmement limitée.

M. le Président dit qu'il est heureux en terminant la séance d'annoncer une bonne nouvelle. Il a reçu de M. Richoux, au nom de vingt-cinq membres de la Société qui désirent garder l'anonyme, l'offre de fonder une médaille à décerner pour l'année 1865 au meilleur travail présenté dans le courant de cette même année.

La lettre de M. Richoux est ainsi conçue :

Monsieur le président,

« Je viens, au nom de vingt-cinq de nos collègues, inspirés par l'exemple donné par M. Perdonnet, vous informer qu'une somme de 500 francs est mise par eux à la disposition de la Société, à l'effet d'offrir une médaille de pareille valeur au *meilleur mémoire* présenté dans *le courant de l'année* 1865.

« Les conditions de forme à remplir par les auteurs, pour obtenir cette médaille, seront réglées par une commission nommée par le comité. Sans prétendre indiquer à cette commission la marche à suivre, il a semblé que les mémoires présentés pourraient être examinés par les commissions ordinaires du comité ; que les présidents des quatre sections réunis, pourraient examiner à leur tour les mémoires distingués par chacune des sections, et devenir juges du mémoire auquel la médaille devrait être décernée.

« On pense que les coins qui ont servi à frapper la médaille que nous possédons pourraient encore servir, ils donneraient une médaille d'or d'une valeur de 470 fr. »

Agréez, etc.

M. LE PRÉSIDENT croit que l'offre doit être acceptée. Il demande même s'il n'y aurait pas lieu de solliciter les membres de la Société pour fonder à côté de la médaille dont il s'agit trois autres médailles, en employant les mêmes moyens à l'effet d'en trouver une, par chaque section.

La Société sait que le comité, pour faciliter ses travaux, a l'habitude tous les ans de se diviser en quatre sections ayant pour mission l'examen des travaux qui lui sont adressés.

Une commission spéciale a été nommée par le comité pour examiner la proposition et préparer la rédaction du titre en vertu duquel la médaille sera décernée.

Séance du 17 Février 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT ouvre la séance et donne la parole à M. le secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la séance du 3 février. La rédaction est adoptée.

M. DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ reprend successivement les démonstrations des diverses propositions qu'il a établies. Ces démonstrations ayant été présentées sous une forme purement géométrique, ne s'entendraient pas commodément sans figures, c'est pourquoi le détail n'en peut être donné dans ce compte rendu.

Quant aux méthodes employées, elles ont été indiquées dans le compte rendu de la séance du 3 février, page 30, *nota* 2. Elles ne comportent que l'emploi de la géométrie la plus élémentaire.

L'auteur ajoute quelques observations générales :

« La théorie ordinaire de la résistance des matériaux s'appuie sur deux sortes de « faits :

« 1° Des faits mathématiques (mécaniques ou géométriques);

« 2° Des hypothèses plus ou moins plausibles et commodes mais fort contestables.

« D'où il résulte que la théorie ordinaire n'est qu'à l'état semi-rationnel; pour « arriver à l'état rationnel, il faudrait pouvoir supprimer toute hypothèse et se fonder « exclusivement sur des faits mathématiques. Telle est la nouvelle méthode inaugurée « par M. Lamé, et que nous avons suivie. Nous avons examiné les bases de la théorie « actuelle et notamment l'hypothèse de la permanence des sections planes, de laquelle « résulte le mode de répartition des forces élastiques dans la section d'un prisme « fléchi. L'étude rationnelle de cette répartition fera, au moins en partie, l'objet d'un « second mémoire. »

M. le Président donne lecture de la lettre suivante, qu'il a reçue de M. Bourdon.

« Monsieur le Président,

« Dans le procès-verbal de la séance de notre Société, en date du 20 janvier dernier, j'ai lu une intéressante communication de M. Goschler sur l'application des cheminées coniques divergentes aux machines locomotives.

« Sans vouloir prétendre, en aucune façon, que M. Riggenbach ait emprunté aux travaux que j'ai faits, il y a sept ans, les dispositions qu'il a appliquées aux chaudières des machines locomotives, je crois cependant devoir faire remarquer que le système de cheminée que j'ai fait breveter en 1857 est, à bien peu de chose près, le même que celui qui a fait l'objet de la communication de M. Goschler.

« L'un et l'autre nous employons le tube convergent divergent avec jet de vapeur à la base de l'appareil. Outre cette disposition, qui est commune à M. Riggenbach et à moi, j'emploie comme moyen d'augmenter l'effet utile du jet de vapeur, le tube divergent à intervalles annulaires ou solutions de continuité auquel M. Riggenbach ne paraît pas avoir pensé.

« Cette disposition qui, à mon avis, augmente notablement la puissance d'aspiration de l'appareil, pouvant ajouter un nouvel intérêt à l'examen que quelques membres de la Société des Ingénieurs seraient disposés à faire de ce système de cheminée, je viens vous prier, monsieur le Président, de me permettre de présenter à la séance de ce jour les dessins et descriptions que je joins à cette lettre, et qui reproduisent les dispositions que j'ai fait breveter en 1857.

« M'en rapportant complétement à votre obligeance pour apprécier l'opportunité de ma communication,

« Je vous prie d'agréer, etc. »

M. le Président pense que la lettre de M. Bourdon peut être reproduite utilement dans le compte rendu de la séance; la description et les dessins qui l'accompagnent seront déposés aux archives de la Société.

M. Benoit Duportail obtient la parole pour communiquer une suite à son mémoire sur l'Enseignement professionnel.

Il y a une institution dont il n'a pas parlé et qui a cependant une valeur considérable au point de vue de l'enseignement professionnel; il s'agit des *bibliothèques populaires*.

Cette institution, qui n'a pris de développement que depuis peu d'années, mais qui paraît en ce moment appelée à recevoir une très-grande extension, est un des éléments les plus puissants, non pas au point de vue pratique, non pas au point de vue professionnel à proprement parler, mais à un point de vue *techno-théorique*. Et, en effet, si d'un côté il est plus difficile, en principe, d'étudier dans les livres que de suivre des cours, il ne faut pas oublier, d'autre part, qu'on trouve toujours le livre, qu'on peut le consulter à toute heure, toutes les fois que l'on a quelque loisir, tandis qu'il faut être libre aux heures des cours pour pouvoir en profiter, ce qui ne peut pas toujours s'accorder avec les occupations que l'on a. C'est donc là l'un des éléments que l'on doit le plus développer pour l'éducation des ouvriers, et il faut le développer dans des conditions tellement larges qu'on soit bien aise d'encourir le reproche de prodigalité. Il faut que les ouvrages élémentaires de mathématiques et de technologie que l'on jugera convenable d'adopter se trouvent à un très-grand nombre d'exem-

plaires dans chaque bibliothèque, afin que chaque lecteur soit toujours sûr d'en avoir un à sa disposition. Il faut de plus que les murs soient couverts de dessins, de gravures, de lithographies représentant toutes les machines, tous les organes de machines qu'il est utile de connaître quand on s'occupe d'industrie. Il faut en un mot « *si parva licet componere magnis* » que chacune des bibliothèques populaires devienne en quelque sorte une petite succursale du Conservatoire des Arts et métiers.

Parmi les considérations judicieuses que MM. Flachat et Tresca ont développées, ils ont présenté deux arguments presque identiques en faveur de l'enseignement professionnel. Ces arguments embarrassants de prime abord, paraissent maintenant très-favorables pour la doctrine de M. Benoît Duportail. En effet, M. Flachat a donné des chiffres très-intéressants d'où il résulte que la proportion du nombre des apprentis à celui des ouvriers n'est que de 3.2 pour 100 environ, c'est-à-dire la moitié de celle qui serait nécessaire; et il en a conclu qu'il ne fallait pas compter sur l'apprentissage pour former des ouvriers, et qu'il fallait par conséquent former des écoles professionnelles. M. Tresca, de son côté, a indiqué que le nombre des jeunes gens qui profitent des cours de mathématiques n'est que de deux ou trois par collége en moyenne. Ces faits loin de prouver la nécessité de la création d'écoles professionnelles ne prouvent-ils pas, au contraire, que l'on devrait tirer un bien plus grand parti des moyens dont on dispose actuellement avant de songer à en créer de nouveaux?

M. Benoît Duportail expose ses idées générales sur l'industrie et les sociétés humaines.

L'industrie est la véritable base de toute Société; ses principes organiques fondamentaux sont la production, l'échange et la consommation.

Elle renferme tant de branches diverses qu'il faut avoir étudié d'une manière spéciale l'économie politique pour se rendre compte des lois générales qui la régissent.

Mais chacune des branches de l'industrie humaine qu'il serait trop long, aussi bien qu'inutile d'énumérer ici, a son existence propre. — Les principes organiques de ces diverses branches sont les mêmes pour toutes, et ce sont ces principes organiques qui constituent de fait, d'une manière inévitable, et pour ainsi dire fatale, *les corporations*, soit qu'on reconnaisse officiellement et légalement leur existence, soit qu'on ne *la* reconnaisse pas, absolument comme la famille existe de fait par la réunion des enfants et de leurs parents.

Ces faits rentrent dans l'ordre des lois supérieures de la nature que nous pouvons méconnaître, mais auxquelles nous ne pouvons pas nous soustraire.

Il est utile, il est sage de reconnaître les corporations, afin de leur donner une existence régulière et de les diriger de la manière la plus avantageuse possible dans l'intérêt de tous.

Les principes organiques et *cosmonomiques* qui constituent les corporations ou corps d'état, sont :

D'une part, *la direction et l'administration de chaque établissement qui constituent son existence propre et qui comprennent naturellement, comme chacun le sait, l'organisation de la fabrication, l'installation des usines, l'approvisionnement et le placement des produits, l'embauchage, la radiation, le salaire, et en général la direction du personnel.*

C'est la forme générale, universelle de la centralisation, de la domination au point de vue industriel qui se retrouve dans tous les temps et dans tous les pays.

D'autre part, *la production matérielle basée sur l'aptitude des ouvriers et sur*

l'apprentissage ou Enseignement professionnel ; la camaraderie comprenant le placement individuel, l'assistance mutuelle, la coalition, qui constituent la solidarité des membres de chaque corps d'état ou corporation.

Enfin, la juridiction (*soit par les tribunaux ordinaires et suivant le droit commun, soit par des tribunaux spéciaux, tels que les conseils de Prud'hommes, etc., pour les questions spéciales et techniques*), *dont la mission est de régler les rapports de la partie dirigeante et de la partie obéissante, des supérieurs et des inférieurs, des chefs et des employés et ouvriers, conformément aux lois générales du droit et de la justice et aux lois organiques naturelles de chaque corporation.*

Ces trois éléments sont solidaires l'un de l'autre, et c'est un point important qu'on ne devrait jamais oublier; ils ne peuvent pas prospérer l'un sans l'autre.

Le patronnage et les emplois sont des éléments mixtes qui tiennent à la fois des corporations et de leurs directions, et qui changent de rôle suivant les circonstances.

Toutes les corporations sont libérales, et, comme on dit, démocratiques dans l'origine. Elles ont d'abord pour but de protéger les intérêts de tous les membres de l'Association, mais par suite de la centralisation qui est dans la nature des choses, la direction prenant de plus en plus d'avantages sur la corporation, les membres des corporations se trouvent successivement dans une position de plus en plus fâcheuse et précaire, et pour retarder leur asservissement qui résulte inévitablement de l'excès de centralisation et en rendre les conséquences moins rigoureuses pour eux-mêmes, ils cherchent à diminuer la concurrence en s'opposant à l'admission de nouveaux membres, en hérissant l'affiliation de difficultés et en n'admettant autant que possible que les parents des affiliés ou des patrons : cette tendance est dans la nature même des choses. Dès lors, la corporation devient aristocratique, exclusive et caduque, et se transforme en un élément de servitude et de tyrannie.

Avant que les choses arrivent à cet état, il se présente plusieurs phases intermédiaires qui le préparent.

Par suite des conflits entre les corporations et leurs directions, la juridiction prend un certain esprit, une certaine tendance de centralisation et s'arroge une certaine ingérence dans les affaires qu'elle croit utile, mais qui commence en réalité l'asservissement puisqu'elle supprime tout recours contre les mesures prises par des gens qui sont ainsi à la fois juges et parties! Bientôt les juges eux-mêmes sont débordés par le cours des événements. Ils se sentent insuffisants pour la position où ils sont arrivés; ils sont obligés de réclamer le concours des patrons ou chefs des établissements, et ne tardent pas à tomber dans leur dépendance et à devenir sous leurs ordres des instruments puissants de servitude. Alors tout languit, tout dégénère, tout périclite et la ruine ne tarde pas à arriver.

Mais quand, après s'être laissé entraîner par les circonstances à concourir à l'asservissement des ouvriers, ils voient les conséquences funestes des événements auxquels ils ont participé eux-mêmes, les hommes chargés de la juridiction sont, en partie par le sentiment de leurs devoirs, en partie par celui de leur propre intérêt, les premiers à appeler et à commencer une réforme générale.

Alors les corporations s'écroulent au grand avantage de tous : à l'avantage des ouvriers qui reprennent leur liberté, et qui, débarrassés des entraves que les corporations aux abois avaient mises partout, peuvent utiliser, comme ils l'entendent et au mieux de leurs intérêts, les connaissances et les talents qu'ils possèdent, à l'avantage des patrons qui étaient eux-mêmes entravés par les règlements des corporations et qui reprennent leur initiative et leur indépendance; à l'avantage enfin de la juridic-

tion qui reprend aussi sa liberté, son indépendance, sa dignité, et la considération qu'elle aurait toujours dû conserver.

A ces époques de renversement et d'affranchissement succèdent des époques d'isolement, d'individualisme et d'anarchie, qui sont de courte durée, comme celles de centralisation exagérée, et qui sont en quelque sorte transitoires. L'industrie ne peut prospérer, elle ne peut même subsister que par la solidarité et le concours harmonique de toutes ses parties. On fait donc de nouvelles institutions, dans lesquelles on cherche à éviter les fautes des générations précédentes, on organise un nouvel ordre de chose qui subsiste d'autant plus longtemps que les principes sur lesquels il repose ne tendent pas trop rapidement à la centralisation, et qu'ils laissent subsister largement une échelle hiérarchique qui permet plus facilement à toutes les activités, à toutes les intelligences de se développer et de trouver dans l'ordre social un bien être suffisamment rémunérateur des services qu'ils peuvent rendre à la Société, dans la sphère où ils sont placés.

La marche générale des événements est fatalement, toujours et partout la même, dans tous les temps et dans tous les pays : les trois périodes se succèdent et se ramènent alternativement : les abus de l'une entraînent le retour de l'autre.

M. Benoit Duportail préfère les périodes intermédiaires (*in medio virtus*), pendant lesquelles les corporations et les patrons luttent à armes à peu près égales pour leurs intérêts; il les préfère, parce que ce sont les périodes où existe ordinairement une juste hiérarchie et une liberté féconde, sans violences de part ni d'autre, où chacun est réellement responsable de ses œuvres et où par conséquent les hommes capables, actifs, économes et intelligents peuvent s'élever aux plus hautes positions sociales, quelle que soit l'humilité de leur origine, tandis que les dissipateurs, les hommes sans énergie et sans intelligence tombent par la force des choses. Ce sont les périodes où les pays jouissent d'une véritable prospérité, périodes que les gouvernements doivent prolonger le plus longtemps possible, par des mesures opportunes.

M. Benoit Duportail termine en disant que puisqu'il y a, de fait, des corporations ou corps d'état partout où il y a de l'industrie, l'Enseignement professionnel ou l'apprentissage doit avoir pour but de préparer chacun de leurs membres à remplir convenablement la place qu'il peut y trouver. Il croit bien faire en émettant ces idées, *qui* pourront servir de point de départ pour des études plus complètes et plus détaillées, et d'une utilité incontestable.

MM. Chauveau des Roches, Orsatti, Mayer, Gouvy et Avril ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 3 Mars 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président donne la parole à M. le Secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'une somme de 500 francs a été mise à la disposition de la Société par un certain nombre de membres qui désirent garder l'anonyme, pour la création d'un prix consistant en une médaille en or, devant être décernée à celui des membres de la Société qui aura présenté, dans le cours de l'année 1865, le mémoire original le plus intéressant pour l'art de l'Ingénieur.

Ce don a été annoncé dans une précédente séance, et une commission nommée dans le sein du comité pour arrêter le programme des conditions auxquelles doivent satisfaire les mémoires présentés à l'effet d'obtenir la médaille. Cette commission composée de MM. Love, président, Richoux, Limet, Brüll, Benoist Duportail, a proposé un programme discuté en comité, et dont la rédaction définitive a été confiée aux membres du bureau. Il en est donné lecture.

Ce programme est ainsi conçu :

1. — Une somme de 500 francs ayant été mise à la disposition de la Société, par vingt-cinq de ses membres, il est créé, d'après le vœu des donateurs, une médaille d'or, d'égale valeur, à décerner au meilleur mémoire présenté pendant l'année 1865 par un membre de la Société.

2. — Les mémoires présentés devront être déposés au secrétariat de la Société avant le 31 décembre 1865 inclusivement.

3. — Les travaux présentés seront, par les soins de M. le Président de la Société pour 1865, partagés après le 31 décembre, selon la spécialité de leur sujet, entre les quatre sections du comité de cette même année. Chaque section désignera, parmi les travaux soumis à son examen, celui qu'elle jugera être le meilleur.

4. — Ceux de ces mémoires proposés pour la médaille seront examinés de nouveau par une autre commission, formée des Présidents des quatre sections actuellement constituées, et présidée par le Président de la Société pour 1865. Cette commission choisira parmi les mémoires désignés par les sections celui auquel la médaille devra être décernée.

5. — La médaille sera délivrée dans la dernière séance de mars 1866.

6. — Aucun membre, faisant partie des sections du comité, ne pourra concourir à moins qu'il ne se récuse comme membre de la commission à laquelle serait soumis son travail. Dans ce cas il sera remplacé, si le comité le juge nécessaire, par un membre de la Société.

M. LE PRÉSIDENT, après avoir fait cette lecture, observe que, suivant le désir exprimé par les donateurs, la Commission a maintenu dans le sens le plus large les termes du programme, de telle sorte que toute latitude soit laissée, pour l'appréciation du mérite des travaux présentés, à la Commission qui devra juger.

Elle a pensé devoir n'admettre que les ouvrages inédits, présentés en 1865, pour stimuler le zèle des ingénieurs membres de la Société, et leur donner l'année tout entière pour laisser aux auteurs de recherches déjà commencées le temps de les terminer à loisir.

Le programme que le comité propose à la Société doit être soumis au vote, de même que les conditions auxquelles les concurrents devront satisfaire. M. le Président met aux voix l'acceptation du prix, ainsi que la rédaction du programme, telle qu'elle vient d'être lue; elle est acceptée à l'unanimité par les membres présents, qui votent, par acclamation, des remercîments aux donateurs du prix proposé.

M. le Président, à la suite de ce vote, exprime le désir qu'il soit donné suite à l'idée émise par lui dans une précédente séance, de la création de quelques autres prix dus à l'initiative soit personnelle, soit collective des membres de la Société.

Il pense que ces prix pourraient être d'une valeur moindre que celui dont il vient d'être question, afin de satisfaire aux vœux des donateurs, dont le but est de fonder un prix exceptionnel.

M. Frédéric Weil, communique ensuite un rapport détaillé sur ses nouveaux procédés, ayant pour but de revêtir les métaux d'une couche adhérente, cohérente et brillante d'autres métaux.

M. Weil passe d'abord en revue les anciens procédés, notamment les procédés galvanoplastiques aux cyanures doubles, les procédés au trempé, par M. Elkington, l'étamage dû à M. Roseleur, le blanchiment des épingles et le procédé de M. Oudry, relatif au cuivrage de la fonte.

Il cite le procédé de laitonnage dû à M. Dumas, ainsi que les travaux de M. Becquerel sur l'application des chlorures doubles au moyen de la pile.

M. Weil expose ensuite les principes généraux qui font la base de ses nouveaux procédés, et il décrit en premier lieu ses procédés de cuivrage du fer, de la fonte et de l'acier sans le secours de la pile, sans enduit intermédiaire et opéré à la température ordinaire par voie d'immersion dans des bains alcalino-organiques, et au contact d'un peu de zinc ou de plomb.

M. Weil décrit la préparation de ses dissolutions et les proportions relatives des différentes matières dont se composent ses bains. Ces matières sont : l'eau, la soude caustique, le sulfate de cuivre, et le sel de seignette ou la glycérine.

Après avoir indiqué la différence d'action de ces bains, selon les proportions relatives des matières qui y entrent, il cite une dissolution qui, d'après lui, donne toujours d'excellents résultats; elle se conserve indéfiniment sans s'altérer, lorsqu'elle est préparée selon les principes qu'il a exposés.

M. Weil, après avoir décrit l'action des différents métaux sur cette dissolution, passe à l'exécution de son procédé de cuivrage de la fonte et du fer. Ces détails d'exécution, fort simples d'ailleurs, sont indispensables pour réussir.

M. Weil décape la fonte et le fer dans de l'eau fortement acidulée, ce qui n'exige que cinq à dix minutes. On passe à l'eau, puis à l'eau faiblement alcalisée; on lave, on grattebosse au fil de fer et non pas au fil de laiton, et l'on suspend les pièces ainsi préparées au moyen d'un fil de zinc, dans la dissolution renfermée dans un vase inattaquable aux alcalis caustiques. Ces vases doivent être par conséquent ou en grès céramique, ou en caoutchouc durci, ou en bois doublé intérieurement de gutta-percha, etc., etc.

Les pièces cuivrées sont lavées, grattebossées, desséchées à la sciure de bois et ensuite à l'étuve.

Les avantages que présente l'emploi du zinc en fil sur le zinc en feuille, sont :

1° Petite surface de contact entre la fonte et le zinc, d'où dépend particulièrement la réussite;

2° La pièce à cuivrer étant suspendue au fil, se cuivre uniformément partout;

3° Formation d'oxyde de zinc en quantité inappréciable, ce qui permet l'emploi du même bain à des séries innombrables de cuivrages, sans être obligé de le revivifier au moyen du sulfure de sodium;

4° Économie en zinc, les mêmes fils servant aux opérations successives.

M. Weil décrit ensuite l'appareil qu'il a imaginé et qui permet de cuivrer avec la plus grande facilité les pièces des plus grandes dimensions. Il décrit également un appareil facile à établir, au moyen duquel les bains s'alimentent de cuivre au fur et à mesure qu'ils en perdent, de sorte qu'ils conservent toujours la même richesse en cuivre.

M. Weil passe ensuite en revue les avantages principaux de ses procédés de cuivrage sur les autres procédés en usage.

Ces avantages sont la solide adhérence du cuivre pur déposé directement sur la fonte, le fer, etc., sans couche intermédiaire, la simplicité, la rapidité et l'économie d'exécution, la reproduction la plus fidèle des détails les plus délicats d'une pièce ornementée, la beauté, la pureté et la fixité de la nuance produite, la facilité de réparer sur place une pièce endommagée, et enfin l'innocuité des dissolutions.

Le fer, la fonte et l'acier cuivrés par les procédés Weil, sont aptes à être couverts de nouvelles couches métalliques, soit par les procédés déjà connus à la pile ou par immersion, soit par des procédés particuliers.

C'est ainsi qu'un quart de millimètre de cuivre supplémentaire, déposé au bain de galvano-plastie, et mieux encore à la pile, mais avec les dissolutions de M. Weil, sur les pièces cuivrées préalablement, leur donne une solidité à toute épreuve, c'est-à-dire de la résistance à l'eau de mer et aux fréquentes alternances de pluies et de sécheresse.

M. Weil, après avoir décrit ensuite ses procédés particuliers de bronzage et de coloration des pièces cuivrées, passe à son procédé de revêtement direct du fer, de la fonte et de l'acier, d'une couche adhérente et brillante de véritable bronze, c'est-à-dire de l'alliage cuivre et étain.

Il décrit ensuite ses moyens de bronzer les alliages de cuivre, ainsi que le cuivre galvanique, ce qui lui paraît avoir d'autant plus d'importance que, jusqu'ici, les moyens connus de bronzage ne peuvent s'appliquer au cuivre galvanique, que l'on a été obligé de peindre ou d'enduire de certains vernis.

M. Weil, après avoir décrit tous ses procédés de zingage, d'étamage et de plombage sans le secours de la pile, cite en détail toutes les applications industrielles de ses procédés, qu'il a étudiées tout particulièrement, et il termine en formulant une théorie chimique générale, qui explique la différence de l'action de sa dissolution sur les différents métaux, et la grande différence des effets et de la manière de se comporter, quand on y remplace le cuivre par un autre métal ou d'autres métaux. Cette théorie permet de déterminer *a priori* les effets qui doivent se produire selon la nature chimique du métal à recouvrir et du métal en dissolution.

M. Weil met enfin sous les yeux de la Société de nombreuses pièces de dimensions variées, en fonte et en fer, qu'il a cuivrées à petite et à grande épaisseur, bronzées, recouvertes de vrai bronze, argentées, dorées et étamées.

M. Derennes dit qu'il a pris part à des expériences faites sur le cuivrage du fer sous la direction de M. le docteur Langlois, dans le laboratoire de M. Alquié, au chemin de fer du Nord. Dans ces expériences, on est arrivé à couvrir le fer et la fonte d'une couche brillante de cuivre très-adhérente, par un procédé qui présente une grande analogie avec celui de M. Weil.

On employait une des liqueurs déjà indiquées pour le cuivrage du zinc, celle qu'on prépare en précipitant une dissolution de sulfate de cuivre par du cyanure de potassium, en redissolvant le précipité dans un excès de cyanure, et en y ajoutant un peu d'ammoniaque. Si l'on immerge simplement dans cette liqueur un objet en

fer bien décapé, il ne se produit aucune action; mais si l'on vient à y mettre en contact avec le fer une petite lame de zinc, il se dépose à la fois sur le fer et sur le zinc une couche de cuivre très-adhérente. L'intervention de l'électricité se manifeste en cette circonstance par la production à la surface du fer d'une multitude de petites bulles d'hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau. Ce dégagement d'hydrogène s'obtient du reste aussi quand on met simplement le fer et le zinc en contact dans l'eau ammoniacale.

M. Langlois a étudié, au point de vue théorique, les circonstances dans lesquelles se produisent ces différents phénomènes.

Des clous, cuivrés par ces procédés, sont conservés depuis environ quinze mois. Quoique on fût arrivé ainsi à des résultats qu'on n'obtenait pas dans la pratique industrielle, on s'était provisoirement borné à l'étude théorique de la question, sans se préoccuper pour le moment de l'application qui d'ailleurs paraissait offrir quelques difficultés; ainsi notamment les liqueurs ne se conservent pas longtemps; en outre, la dissolution perd du cuivre et se charge de zinc; et il se dépose sur le fer du laiton au lieu de cuivre.

M. Debrunner ajoute que l'idée d'employer une lame de zinc pour produire ou faciliter la formation de couches métalliques brillantes n'est pas nouvelle; plusieurs recettes pour dorer et argenter le cuivre, et pour étamer les métaux sont fondées sur cet emploi.

Il termine en disant qu'il a argenté directement du fer par un procédé analogue à celui qu'il vient de décrire, en plongeant le fer dans une dissolution de cyanure double d'argent et de potassium, et en le mettant en contact avec une lame de zinc.

M. Richoux croit devoir rappeler, au point de vue historique, que M. Beslay a publié, il y a quelques années, une méthode pour appliquer directement sur le fer, la fonte et l'acier, le zinc, le plomb et l'étain au moyen de dissolutions potassiques ou sodiques de ces métaux et avec l'aide de la pile.

Le dépôt ainsi obtenu, étant parfaitement adhérent, préserve le métal recouvert de toute oxydation, et permet d'employer les moyens ordinaire de la galvanoplastie pour déposer du cuivre, de l'argent, etc.

M. Weil en réponse à ces deux observations, fait remarquer que ses recherches remontent à 1863, et qu'il avait essayé également, comme M. Elkington, des dissolutions dans du cyanure de potassium avec addition d'ammoniaque, mais les bains de ce genre dissolvent le zinc avec une étonnante rapidité, et le cuivre qui se dépose sur les pièces n'a aucune solidité, de plus les cyanures se décomposent rapidement, et bientôt le bain est hors d'usage. Il ajoute que ce procédé n'est pas un procédé de cuivrage, car au bout de peu de temps la fonte immergée dans ces bains aux cyanures alcalins blanchit complétement. Le cuivre précipité d'abord se redissout. Il y a en même temps dégagement d'hydrogène, tandis que dans le cuivrage du bain alcalin organique, ces phénomènes ne se produisent pas.

En ce qui concerne le procédé de M. Beslay, il diffère complétement de celui de M. Wiel en ce qu'il exige l'emploi de la pile, ce qu'évite M. Weil.

M. Debrunner en faisant l'observation qu'il a présentée, pensait que le contact du zinc était l'une des parties essentielles du procédé nouveau, c'est pourquoi il avait parlé des recherches faites par M. le docteur Langlois.

M. le Président fait observer que la composition des bains, comme choix de matières et comme dosage, présente une importance très-grande; l'expérience a montré que dans certaines circonstances la réussite dépend tout entière de cette composition.

Par exemple dans l'argenture des glaces, pour laquelle un grand nombre de recettes ont été proposées, mais qui ne peut s'exécuter industriellement que par deux ou trois procédés.

En ce qui touche l'adhérence, les compositions de M. Weil semblent avoir conduit à des résultats supérieurs à ceux de ses devanciers, et on est en droit de les attribuer aux modifications qu'il a introduites dans la nature du bain dont la réaction alcaline est due à des alcalis fixes avec addition de matières organiques. Les dissolutions ammoniacales auxquelles on a dû songer tout d'abord n'ont, jusqu'à ce jour, donné que des cuivrages sans adhérence.

M. Dru croit se rappeler qu'il y a dix ans environ, M. Roseleur obtint un dépôt adhérent de cuivre sur la fonte, par l'emploi de bains au cyanure et avec le contact de *lames de zinc*, sans le secours de la pile. Il se rappelle avoir fait quelques expériences à cet égard ; il ne peut en préciser les détails.

Mais le dépôt obtenu ne résistait pas plus que le cuivre ordinaire aux agents atmosphériques, ce qui fit abandonner les essais. Le côté pratique de la question n'est donc pas le dépôt adhérent, ni l'emploi du zinc, ni le bain au tartrate; mais uniquement l'état du cuivre déposé. Est-il, oui ou non, attaquable par les agents atmosphériques? Si non : le résultat vainement cherché est atteint; si oui : Il n'en voit pas l'utilité. C'est donc au temps seul à prononcer le dernier mot sur cette question.

Toutefois, il doit dire que l'étain formant le dépôt de M. Roseleur présentait les qualités désirables ; la fonte revêtue de ce dépôt est aujourd'hui d'un usage usuel sous le nom de *fonte argentine*. M. Roseleur employait, non pas le pyrophosphate, mais le phosphate du commerce et le sel d'étain à deux états distincts : anhydre et hydraté.

Depuis longtemps, d'ailleurs, on emploie les bains à base de tartrate dans l'étamage des épingles.

M. Weil fait observer que le dépôt adhérent du cuivre sur la fonte, etc., est la condition essentielle d'un bon cuivrage, d'un cuivrage pratique. Si le cuivre n'adhère pas parfaitement au fer, il n'y a pas moyen de bien dorer ni d'argenter. Il est encore moins possible alors d'augmenter ladite couche de cuivre au bain acide de sulfate. Or, la dorure et l'argenture, ainsi que l'augmentation en cuivre des pièces cuivrées par son procédé, se font avec la plus grande perfection et la plus grande régularité, ce qui est une preuve de plus de la bonté pratique de son procédé.

M. le Président fait observer que les expériences de M. Weil sont récentes ; on peut se demander quel sera l'effet du temps sur les produits obtenus, par exemple, dans l'été, quand l'air sera chargé d'humidité et d'électricité, et qu'il contiendra soit de l'ammoniaque, soit de l'acide azotique?

Il faut donc attendre ; néanmoins à la vue des échantillons, on peut espérer que le problème sera bientôt résolu.

M. Weil, en réponse à cette espérance apportera, dans une prochaine séance, trois échantillons qui ont été faits il y a quinze mois, et qui ont été envoyés en Angleterre et en Allemagne.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante, qui lui a été adressée par M. Jullien, membre de la Société :

« M. le Président, en manifestant le désir de lire à la Société un nouveau mémoire « sur ma théorie de la trempe, mon but a été, non de faire les frais d'une soirée plus « ou moins intéressante, et d'avoir un mémoire imprimé dans le bulletin, mais de

« résoudre, devant un auditoire indépendant et compétent, une des plus importantes « questions de philosophie chimique qui aient été réservées au dix-neuvième « siècle.

« Pour cela, il me faut des adversaires, et bien que les principes que j'invoque « soient des plus élémentaires, je crois que l'auditoire ne saurait être trop préparé à « l'avance à faire les objections qui doivent me donner tort ou raison.

« A cet effet, j'ai l'honneur de vous adresser cent exemplaires de mon septième « mémoire sur la trempe, pour être distribués à ceux de MM. les membres de la « Société que la question intéresse. »

A la suite de cette lecture, M. le Président annonce que la discussion du mémoire de M. Jullien aura lieu dans une prochaine séance.

M. LE PRÉSIDENT signale parmi les pièces de la correspondance, une lettre de M. Picard à M. Callon, relative aux procédés de MM. Minary et Soudry, sur l'utilisation des scories dans les hauts fourneaux.

La Société se rappelle en effet que, dans la séance du 2 décembre, des objections aux idées de MM. Minary et Soudry, énoncées par M. Callon, avaient été présentées par M. Yvan Flachat au nom de M. Forey. La réponse de M. Picard réfute les observations de M. Forey, et par des chiffres que M. Callon devait développer aujourd'hui même, il prouve l'économie qu'on peut espérer dans l'emploi des scories.

M. LE PRÉSIDENT, en appelant dès aujourd'hui l'attention de la Société sur cette importante question, n'a d'autre but que celui de préparer une discussion qui peut devenir très-utile, si plusieurs des membres que cette étude intéresse veulent bien y prendre part.

Le procès-verbal de cette séance et l'ordre du jour de la première réunion feront ainsi mention de la communication de M. Picard, qui se trouvera donc en quelque sorte réunie à la discussion que M. Jullien réclame sur sa théorie de la constitution des fontes, fers et aciers.

M. LE PRÉSIDENT croit que si l'on parvient à bien définir les questions, à les bien préciser, en indiquant exactement toutes les conditions dans lesquelles les observations ont été faites, et dans lesquelles les phénomènes observés ont été produits, on *fera faire* un grand pas vers la solution de toutes les questions qui, de près ou de loin, se rattachent aux industries métallurgiques.

Un fait l'a frappé dans l'énonciation de MM. Minary et Soudry : l'élimination du phosphore par l'emploi du coke-scories. Au point de vue des produits, cette élimination constituerait un progrès. Mais cette amélioration a été mise en doute par M. Forey. M. Forey a recherché dans des scories, avant et après leur traitement par la houille, la quantité de phosphore qu'elles contenaient; il n'a trouvé ni plus ni moins de phosphore; quelle quantité de phosphore existait-il? S'il n'y en avait que des traces, en a-t-on trouvé des traces seulement, dans les scories après leur traitement par la houille? Est-on bien certain que le combustible n'ait rien apporté.

Le détail de ces expériences manque. Il faut donc avant de rejeter une méthode qui n'a rien que de très-rationnel, attendre qu'une discussion approfondie de tous les points conduise à un examen complet. Il faut se garder de généraliser trop hâtivement; car, dans l'espèce, il est très-admissible que le phosphore soit éliminé par la calcination en présence de produits gazeux chargés d'hydrocarbures très-volatils.

Quant au silicium, la question mérite une étude attentive, qui doit porter et sur

l'état sous lequel ce corps est présenté, sur la marche de l'appareil dans lequel la réaction a lieu, et sur la composition même des scories plus ou moins fusibles.

On semble admettre de part et d'autre la nécessité d'un lit de fusion convenable. Qu'entend-on par ces mots?

La lettre de M. Picard accompagne un plan des appareils dans lesquels on forme le coke-scorie; de plus, elle contient un compte qui, suivant lui, abaisse le prix de revient. Cette nouvelle face de la question mérite qu'on l'envisage de front, et c'est à ce point de vue que la Société doit des remercîments à M. Callon qui veut bien développer, dans la prochaine séance, les expériences de M. Minary.

MM. Bourgougnon, Collet, Denfer, Guebhard, Perrey et Vander-Elst ont été reçus membres de la Société.

Séance du 17 Mars 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président ouvre la séance et donne la parole à M. le secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la séance du 3 mars dont la rédaction est adoptée.

M. Ch. Callon donne lecture d'une lettre de MM. Minary et Soudry, répondant aux observations présentées par M. Ivan Flachat, au nom de M. Forey, sur leur premier exposé de 1864, relatif à l'utilisation des scories de forge.

M. Ch. Callon, en donnant communication de la lettre de M. Picard, mentionnée dans le compte rendu de la dernière réunion, rappelle qu'il n'assistait pas à la séance du 2 décembre 1864, dans laquelle M. Yvan Flachat a fait connaître les observations de M. Forey, qui combat les conclusions de la notice de M. Maurice Picard, sur le procédé de MM. Minary et Soudry pour l'emploi du coke-scorie.

Cette absence, en l'empêchant de prendre part à la discussion soulevée par la lettre de M. Forey, l'a empêché par cela même de la rétablir sur ce qu'il croit être son véritable terrain. Aujourd'hui, il a à communiquer à la Société, par l'intermédiaire de M. Picard, de nouveaux et intéressants détails donnés par l'un des inventeurs du procédé, M. Minary.

Il dépose sur le bureau de la Société :

1° La nouvelle notice de M. Minary;

2° Les plans et note explicative d'une installation pour la préparation des scories et leur mélange avec la houille avant de les carboniser.

M. Ch. Callon analyse ainsi chacun de ces documents :

M. Minary reconnaît avec M. Forey que les scories peuvent être passées avec avantage dans les hauts-fourneaux, à la condition de composer convenablement le lit de fusion. Il reconnaît aussi que la présence du silicium n'est pas un obstacle à l'affinage, toutes les fois qu'il ne dépasse pas certaines proportions.

Mais, sur deux points essentiels, M. Minary repousse les critiques de son honorable contradicteur, et il paraît nécessaire à M. Callon de les signaler brièvement.

M. Forey avait dit, dans la lettre qui a été insérée au procès-verbal du 2 décembre :

« Le procédé de MM. Minary et Soudry n'enlève pas le phosphore de la scorie, « comme ils le prétendent; je me suis procuré de la scorie et du coke préparé avec « cette scorie; j'ai analysé l'un et l'autre, et je n'ai pas trouvé de différence, quant « à leur teneur en phosphore. »

M. Minary, au contraire, continue à soutenir que la carbonisation de la houille en contact avec des scories phosphoreuses a le double résultat de *réduire le fer* contenu dans le silicate complexe de la scorie, et d'*éliminer le phosphore*, au moins partiellement.

Voici l'expérience par laquelle il établit ce dernier fait :

« Des scories phosphoreuses ont été pulvérisées et mélangées à de la houille grasse. « Le mélange placé dans une cornue en terre a été chauffé lentement; tous les gaz « de la distillation se rendaient dans un long tube aussi en terre et chauffé au rouge, « dans lequel ils se brûlaient sous l'action d'un courant d'air forcé, pénétrant dans « ce tube. Les produits de la combustion ne sortaient de l'appareil qu'après avoir « traversé un laveur plein d'eau distillée.

« Après l'opération, l'eau du laveur fut recueillie, portée à l'ébullition et réduite de « plus de moitié par évaporation. — L'acide carbonique qu'elle contenait étant « chassé, l'eau filtrée après refroidissement fut additionnée d'ammoniaque en excès « et de sulfate de magnésie. Immédiatement le précipité de phosphate ammoniaco-« magnésien se fit avec abondance.

« Le précipité lavé, puis calciné, fut, pour plus de certitude, traité à chaud par le « charbon (coke de sucre) dans un petit tube en porcelaine, et à la chaleur presque « blanche, il distilla du phosphore qui vint se condenser dans l'eau du petit ap-« pareil.

« Un fragment de ce phosphore prit feu en démontant les pièces, et je conserve le « reste dans un petit tube en verre fermé à la lampe.

« Un tel résultat prouve d'une manière évidente que les gaz de la distillation en-« traînent avec eux une certaine quantité de phosphore, c'est ce qu'il s'agissait de « reconnaître »

M. Forey, et après lui M. Yvan Flachat, avaient résumé leur opinion défavorable au *coke-scorie*, en disant qu'il ne présentait aucun avantage sur l'emploi des scories *crues*, et qu'il devait être repoussé par conséquent comme occasionnant une main-d'œuvre et une dépense superflues.

M. Minary répond à cette critique en faisant remarquer qu'elle omet un point de vue important, celui de l'économie de combustible et de l'abaissement du prix de revient de la fonte qui en est la conséquence nécessaire.

Si l'on remarque, d'une part, que la quantité de coke nécessaire pour la réduction de la scorie crue dans le haut-fourneau est au moins égale à celle qu'il faut consommer pour la réduction du minerai, — d'autre part, que le coke-scorie, obtenu pendant la carbonisation de la houille (c'est-à-dire à la faveur de la chaleur ordinairement perdue dans la fabrication du coke), n'exige plus, dans le haut-fourneau, que la quantité de combustible nécessaire pour la fusion, — on aura la mesure de l'avantage particulier à cette méthode.

En effet, comptons par tonne de fonte provenant d'un lit de fusion ordinaire (riche de 25 p. 100 environ)..... 1,500k coke

Si nous considérons que, dans un cubilot, on fond cette tonne de fonte avec..... 120k

la différence..... 1,380k

est celle que la théorie indique comme mesure de l'économie en combustible à réaliser pour chaque tonne de fonte provenant des scories, lorsqu'on traite ces scories par le procédé de M. Minary, au lieu de les passer au haut-fourneau par le mode ordinaire.

Il était nécessaire, toutefois, de vérifier ce raisonnement par des expériences en grand. Voici celles qui ont été faites dans cette vue, en avril 1863, sur l'un des hauts-fourneaux de l'usine de Rans.

Consommation de coke par tonne de fonte produite :

Avec la scorie brute.....	1648 kil.
Avec le coke-scorie.....	1446
Différence ou économie.....	202 kil.

Cette économie correspond à l'emploi de 408 kil. de scories par tonne de fonte.

L'économie, par tonne de scories, est donc :

$$\frac{202 \times 1000}{408} = 495 \text{ kil. de coke.}$$

Et comme leur richesse en métal = 0,42, l'économie, *par tonne de fonte produite par la scorie du coke-scorie*, a donc été :

$$\frac{495}{0,42} = 1178 \text{ kil. coke.}$$

Mais le coke-scorie renfermait 0,14 d'eau; donc : $\frac{1178}{0,86}$, soit 1300 kil., est bien, en effet, la mesure de l'avantage du procédé. Ces résultats sont, dès lors, de nature à jeter un intérêt réel sur les plans d'installation que notre confrère, M. Maurice Picard, nous a envoyés. Pour les faire apprécier, M. Ch. Callon se borne à lire la légende jointe à ces plans :

Appareil à pulvériser et mélanger les scories avec la houille pour fabriquer le coke-scorie.

« Les scories, préalablement étonnées dans l'eau, sont broyées par deux molletons « en fonte; lorsqu'elles sont réduites en poudre très-fine, elles se réunissent mécani- « quement dans une trémie d'où elles sont enlevées continuellement par une chaîne à « godets, et versées dans une grande caisse en bois, qui forme réservoir. — De là, une « autre chaîne à godets les enlève et les verse dans un mélangeur.

« D'un autre côté, la houille, pulvérisée entre des cylindres en fonte, est trans- « portée de même par une chaîne à godets, dans une grande bâche ou réservoir en « bois; de là, par une autre chaîne à godets, elle est remontée dans le mélangeur.

« Les deux chaînes à godets qui amènent dans le mélangeur, l'une la scorie, l'autre « la houille, marchent à des vitesses variables, et c'est en variant ces vitesses que « l'on règle les proportions de houille et de scorie dans le mélange.

« La houille et la scorie mélangées très-intimement sont versées par le mélangeur

« lui-même, alternativement à droite ou à gauche, dans les wagons qui sont élevés « au niveau de la plate-forme supérieure des fours à coke.

« Le mouvement est donné à tous ces différents appareils, au moyen d'une seule « machine. »

En argent, quelle est l'économie?

Supposons un coke à 24 fr. la tonne;

Économie, $24^f \times \frac{495^k}{1000} =$		$11^f,88$
Broyage et mélange.....	1 fr.	2 »
Carbonisation.....	1 fr.	
Économie par tonne de scorie passée au haut-fourneau.....		$9^f,88$

N. B. — La proportion des scories formait les 10 à 11 centièmes du lit de fusion dans les deux séries d'expériences ci-dessus rapportées.

M. Jordan, tout en déclarant qu'il n'a pas eu l'occasion d'étudier personnellement la question par expérience, signale un point important sur lequel MM. Minary et Soudry ne donnent pas de renseignements; ils montrent bien que l'emploi du coke-scorie produit une certaine économie relativement à l'emploi de la scorie crue, et que la réduction de la scorie en fait disparaître une partie du phosphore; mais ils ne disent pas si la houille donne un rendement aussi fort en carbone fixe lorsqu'on la transforme en coke-scorie que lorsqu'on en fait du coke ordinaire. Est-on certain que la réduction de la scorie ne dépense pas une certaine quantité de carbone fixe? Il semble démontré par les récentes expériences de M. le docteur Percy, à l'école des mines de Londres, que les silicates de protoxyde de fer qui constituent en grande partie la scorie ne sont pas réductibles par les gaz, mais seulement par le charbon, et que le protosilicate à 1 équivalent de base pour 1 d'oxyde n'est pas réduit même par le charbon. Ne doit-il pas alors y avoir dans la fabrication du coke-scorie une certaine consommation de coke et par suite une diminution de rendement.

M. Ch. Callon déclare qu'il ne possède sur la question que les documents mêmes que MM. Minary et Picard lui ont adressés, et qu'il s'est chargé de communiquer de leur part à la Société. Ces documents ne traitent qu'indirectement le point sur lequel il est demandé des éclaircissements, et M. Callon suppose que MM. Minary et Picard voudront combler cette lacune par des explications ultérieures.

M. de Mastaing fait remarquer que la question soulevée pourrait être tranchée si le mémoire mentionnait la dépense de houille dans la fabrication du coke-scorie.

M. Ch. Callon fait remarquer que cette observation rentre dans celle que vient de faire M. Jordan, et implique la même réponse.

M. le Président dit que les auteurs du mémoire ne font pas connaître si la réduction de la scorie s'opère par le carbone fixe ou par les gaz réducteurs; il pense que les inventeurs du procédé admettent l'intervention de ces derniers. Conformément aux recherches énoncées par M. Jordan, et d'accord avec d'anciennes expériences faites, en 1837 et 1840, dans les hauts-fourneaux de Vellexon et de Clerval, des scories riches en fer contenant 0,84 de protoxyde de fer n'ont été réduites en quantité notable à l'état métallique, même par le charbon fixe, qu'après addition d'une certaine quantité de chaux.

L'observation de M. Jordan est donc à prendre en considération sérieuse, et il pense

que MM. Picard et Minary, prévenus par la voie du compte rendu de la séance, donneront une réponse aux objections qui sont présentées.

M. Jordan fait remarquer que les silicates ne sont, en général, réductibles au haut-fourneau qu'au-dessous du ventre, et que c'est pour cela qu'on consomme plus de coke en traitant des silicates qu'en réduisant des minerais oxydés.

M. Richoux demande si cette consommation possible de carbone fixe dans la fabrication du coke-scorie serait d'une importance suffisante pour contre-balancer l'avantage de l'enlèvement du phosphore.

M. Jordan répond qu'il n'a entendu traiter dans son observation que la question scientifique et non celle du prix de revient.

M. Ch. Callon regrette de ne pas être en mesure de fournir à la Société les renseignements nécessaires pour fixer dès aujourd'hui et d'une manière définitive le point dont il s'agit. MM. Minary et Soudry n'ont répondu dans leur lettre qu'aux objections qu'on avait présentées à la séance du 2 décembre sur leur premier exposé. Ils montrent seulement que, contrairement à ce qu'on leur opposait, le phosphore disparaît en partie dans le traitement qu'ils ont imaginé, et que l'emploi du coke-scorie présente sur celui de la scorie crue des avantages économiques.

M. le Président fait remarquer que, relativement à l'amélioration des produits par la volatilisation du phosphore, qui semble prouvée par les nouvelles expériences de M. Minary, il ne faudrait pas, sans de nouvelles études, s'en exagérer la portée, si le coke-scorie n'entre, ainsi qu'il est dit au mémoire, que pour moins de 10 à 11 p. 100 dans le lit de fusion.

M. Clémandot donne ensuite lecture d'une note relative à une nouvelle industrie, celle du *carton durci* et aux applications industrielles qu'elle a déjà reçues. Il rappelle l'emploi si commun du carton pour fabriquer les objets de luxe connus sous le nom de laques et de papier mâché; mais cette matière n'avait jamais été employée à la fabrication d'objets industriels, et c'est pour ces applications qu'une usine s'est fondée à Clichy, sous la raison sociale Dufournet et C^e^.

La première application a été faite à la fabrication de formes à sucre pour raffineries. Cet outillage est des plus importants, puisqu'il représente des sommes considérables d'achat et d'entretien, et qu'il est indispensable pour achever le raffinage du sucre.

Énumérant les différentes formes employées jusqu'ici, en terre, tôle, zinc, cuivre étamé, verre, M. Clemandot fait voir rapidement les inconvénients de tous ces systèmes. Celles qui offrent le plus d'avantages sont celles en tôle peinte ou émaillée, mais elles ont un immense inconvénient. Au bout d'un temps plus ou moins court, la peinture ou l'émail se détachant de quelques points de la tôle, celle-ci dépose sur le pain de sucre des taches de rouille; le sucre perd de sa valeur, et il faut réparer la forme; ce qui occasionne donc une double perte.

Les formes en carton sont évidemment à l'abri de cet inconvénient; il est complétement impossible qu'elles tachent les pains, et à cause de l'adhérence des peintures et des laques sur le carton, elles n'ont pas besoin de réparations. Leur légèreté les rend en outre très-faciles à manier.

Mais pour arriver à ces excellents résultats, la fabrication de ces formes doit être très-soignée; il faut changer complétement la nature du carton et le rendre tout à fait imperméable.

Le carton pris à l'état de feuille et découpé suivant les gabaris convenables est

soumis à l'action d'une presse hydraulique qui le moule suivant le modèle voulu. Puis il est recouvert de peintures et de laques qui en assurent l'imperméabilité et l'uni; le carton acquiert une dureté qui lui permet de résister parfaitement aux coups du plamotage. Une calotte en tôle à la tête et un cercle en fer à la base pour supporter le lochage, assurent la complète solidité de la forme.

Le prix des matières employées, les nombreuses cuissons qui se font à une température d'environ 120°, et les mains-d'œuvre très-multipliées rendent cette fabrication très-délicate et justifient le prix de ces formes.

M. Clémandot aborde ensuite la question d'économie qui assure à ces formes un succès certain. D'après l'appréciation qui en a été faite par de très-habiles raffineurs, une forme en tôle coûte par an 1 fr. 50 c., tant pour l'entretien même de la forme que pour la perte de valeur sur le sucre taché. Or, les formes en carton durci ont déjà 6 années d'existence et n'ont encore coûté, au bout de ce temps, que leur prix d'achat, 5 fr. 50 cent., tandis que les formes en tôle, ont coûté 9 fr., plus leur prix d'achat, soit 14 fr. Différence 8 fr. 50 c. Pour 100,000 formes, c'est donc déjà en six ans une économie de 850,000 fr. et les formes en carton sont encore en très-bon état, de sorte qu'on ne peut prévoir l'économie qui viendra s'y ajouter en augmentant tous les ans si rapidement. Elles peuvent durer un très grand nombre d'années, si l'on s'en sert avec les précautions convenables.

MM. Dufournet et Cᵉ ont joint à la fabrication des formes à sucre d'autres fabrications secondaires qui présentent aussi un certain intérêt.

Leur carton durci étant léger, non fragile, inaltérable, résistant parfaitement à un grand nombre d'agents chimiques, remplace avec avantage et économie la porcelaine, le verre et la gutta-percha. Aussi MM. Dufournet et Cᵉ l'ont-ils appliqué à la fabrication de cuvettes et d'entonnoirs pour la photographie.

Ces cuvettes sont destinées à rendre les plus grands services à la photographie, surtout pour les voyages; elles sont alors emboîtées par jeux qui représentent sous un faible poids et un faible volume tout le bagage nécessaire.

MM. Dufournet et Cᵉ ont aussi étudié la fabrication de vases pour piles électriques. M. Clémandot espère bien que ces vases non fragiles trouveront leur place toute naturelle sur les trains de chemins de fer qui emporteront leur batterie électrique. Un de ces vases fonctionne depuis près d'un an à la station de Noisy-le-sec, où M. Guillaume a bien voulu le faire expérimenter.

M. Clémandot pense donc que cette nouvelle branche d'industrie est appelée, elle aussi, à jouer son rôle par les nombreuses applications dont elle est susceptible, et dont les débuts donnent tout lieu d'espérer pour l'avenir.

M. Jullien expose sa théorie des *fers*, *fontes* et *aciers* :

Quels sont les composants des *fontes* et *aciers* mathématiquement purs? Karsten dit : Ce sont le *fer* et le *carbone*. M. Frémy, sans repousser l'intervention du carbone dit (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 31 mars 1862) : « Je pense « donc que la qualité de l'*acier Wootz* doit être principalement attribuée à l'emploi « de végétaux qui donnent au fer les éléments de l'aciération, c'est-à-dire le *phos-* « *phore* et l'*azote*. » D'autres attribuent cette qualité au *silicium*; MM. Stodart-Faraday l'attribuent à l'*aluminium*.

Si M. Frémy dit vrai, pourquoi les fontes de *Champagne*, de *Franche-Comté*, du *Berry* et du *Périgord*, qui contiennent toutes plus ou moins de *phosphore*, sont-elles impropres à la fabrication de l'acier?

Pourquoi les fontes de *Savoie*, qui contiennent jusqu'à 4 millièmes de *soufre* et 4 millièmes de *cuivre*, sans traces de *phosphore*, donnent-elles des aciers qui s'emploient avantageusement dans le corroyage, en mélange avec les premières marques de Suède?

Pourquoi les fers azotés sont-ils cassants et impropres aux usages auxquels on destine le métal? Tous les fers du commerce contiennent du carbone; l'azote devrait les rendre aciéreux; il les rend détestables.

Ce qui ressort de plus intéressant des recherches de M. Frémy, c'est que tous les fers et aciers du commerce contiennent de l'azote qu'ils ont absorbé dans les chaudes successives auxquelles ils sont soumis.

Le recuit, en vase clos, rend les tôles fines infiniment plus souples que le recuit à l'air libre; de plus, il rend nerveux les fers cassants, dits fers brûlés. Les fabricants d'acier devraient profiter de ce renseignement pour recuire, en vase clos, les tôles d'acier et les aciers fins.

On aura beau faire, on en reviendra toujours à la définition de Karsten, qui est confirmée par l'expérience. Les fers de *Suède* sont, avec ceux de *Russie*, les meilleurs pour l'acier, parce qu'ils sont les plus purs.

Mais que sont les composés que forment entre eux le fer et le carbone? Sont-ce des *mélanges?* sont-ce des *combinaisons*? Sont-ce des *combinaisons de fer et carbone en dissolution dans le fer?* sont-ce de simples *dissolutions* des composants? Karsten dit (tome Ier, § 323) :

« Le fer carburé (la fonte ou l'acier) doit être considéré comme un *alliage* de « deux métaux, qui est toujours homogène à l'état liquide, puisque cette homogé- « néité subsiste après un prompt refroidissement. »

Tous les princes de la science se sont ralliés à cette définition. Pour M. Jullien, il la considère comme *l'expression immuable de la vérité.*

Pourquoi la théorie de Karsten est-elle alors insuffisante pour expliquer les phénomènes de la métallurgie du fer? Pourquoi, en partant du même principe, M. Jullien les explique-t-il tous avec la plus grande facilité? C'est parce que, pour Karsten comme pour les chimistes, les *amalgames et alliages* sont des *combinaisons* métalliques en *dissolutions* dans un excès de l'un des composants, tandis que pour M. Jullien *les métaux ne se combinent pas entre eux*, d'où il résulte que les amalgames et alliages sont de simples dissolutions des composants.

Toute la théorie des *fontes et aciers* se résume donc à une question d'*interprétation* du mot alliage, et non à la découverte de faits nouveaux; tout a été dit sur ces composés.

Voici la théorie de M. Jullien :

La *trempe* est un fait, tantôt naturel, tantôt artificiel, dont le résultat immédiat est de *changer*, en plus ou moins de temps, la température des corps.

Quand on échauffe ou refroidit un corps, que le changement de température soit brusque ou soit lent, il ne se produit jamais, chez ce dernier, qu'un *changement de volume* ou un *changement d'état physique*. En est-il autrement quand on soumet à l'action de la trempe l'*acier*, la *fonte*, le *verre*, le *bronze*, le *soufre* et le *phosphore*? Non.

Mais, pour le prouver il faut d'abord démontrer que :

1° La *dissolution* n'est pas un composé nécessairement *liquide;* c'est un *état chimique* des corps autre que la *combinaison*.

2° Quand une dissolution liquide se solidifie, si elle se convertit en un mélange, cela tient exclusivement à ce que la solubilité est moindre dans un dissolvant solide que dans le même dissolvant liquide.

3° Tous les corps solides affectent deux structures : l'une *cristalline*, l'autre *amorphe* que l'on obtient, soit en les prenant liquides et en les refroidissant, tantôt brusquement, tantôt lentement ; soit en les dissolvant dans un corps solide.

4° La grosseur des cristaux des corps solides cristallisés est proportionnelle à la durée de leur formation.

En ce qui concerne spécialement les trempes de l'acier, de la fonte, du verre, des poteries, des roches ignées et du bronze, il y a à démontrer que :

1° Les métaux ne se combinent pas entre eux ;

2° Le fer ne se combine pas avec le carbone ;

3° Le verre est une dissolution dans un silicate neutre, d'un petit excès de l'un de ses composants ;

4° Les poteries cuites sont des dissolutions d'un silicate neutre dans un grand excès de l'un de leurs composants.

M. Jullien va démontrer aujourd'hui que :

1° La dissolution est, avant tout, un état chimique des corps ;

2° Les métaux ne se combinent pas entre eux :

1° *De la dissolution.*—Les phénomènes physiques les plus élémentaires, tels que : la *porosité*, la *dilatation* et les *changements d'état physique*, comme les phénomènes chimiques les mieux étudiés démontrent que le *corps* n'est pas *matière*, mais un simple assemblage d'*éléments matériels* identiques, dont les propriétés sont les résultantes des propriétés individuelles ou collectives de ces éléments.

Quand les éléments de deux corps différents se rencontrent, ils ne peuvent que *s'accoupler* et se constituer en éléments composés ou *combinaisons*, ou se *côtoyer* et se constituer en composés plus ou moins homogènes d'éléments différents, ou *dissolutions*. Partant de là, on peut définir la *combinaison* en un composé dont :

a. Les composants sont en proportions constantes pour un même accouplement, et exactes, c'est-à-dire en nombres entiers d'éléments composants ;

b. Les propriétés sont celles des éléments composés, et non celles des éléments composants.

On peut définir la *dissolution* un composé dont :

a. Les composants sont en toutes proportions, avec ou sans maximum de saturation ;

b. Les propriétés participent de celles des composants.

La dissolution n'est donc pas un composé essentiellement liquide, ni de plus, la combinaison en proportions indéfinies, engendrée sous l'influence de l'affinité capillaire, imaginée par M. Chevreul, pour expliquer la teinture, la cémentation, l'absorption du gaz par les corps poreux, qui est une simple dissolution solide.

Quand une dissolution liquide se solidifie, si elle se convertit en un mélange, il est évident que cela tient à ce que la solubilité, dans le dissolvant solide, est ou nulle, ou inférieure à la solubilité dans le même dissolvant liquide. M. Jullien démontre plus loin que quand la solidification est instantanée, si l'un des deux composants cristallise, il n'y a pas décomposition, quelque faible que soit la solubilité dans le dissolvant solide. Il y a alors dissolution solide à l'état d'équilibre instable.

2° *Alliages.* — Pour *Berzélius*, les amalgames et alliages contiennent les métaux combinés, parce que :

a. Quand on extrait le mercure liquide d'un amalgame, le métal solide que l'on obtient en retient une proportion *constante* et *exacte;*

b. Quand on maintient liquide soit un amalgame, soit un alliage, il se forme des cristaux renfermant l'un et l'autre des composants.

Pour M. Jullien, les amalgames et les alliages sont des composés qui participent des propriétés des composants, comme la simple dissolution.

M. Jullien admet que les dépôts solides sont en proportions constantes, parce que, dans ce cas, il y a maximum de saturation du dissolvant solide, mais il n'admet pas que les proportions sont exactes, attendu que ce n'est pas suffisamment démontré.

D'après la théorie de Berzélius, le bronze, à 10 p. 100 d'étain, devrait être une combinaison de *cuivre* et d'*étain* en dissolution dans du cuivre. Quand on chauffe le bronze au rouge (Thénard), sans le mettre en fusion, l'étain se liquéfie et suinte par les pores du métal. Si l'étain était combiné, agirait-il ainsi? De même quand on chauffe un amalgame solide d'or ou d'argent, le mercure s'évapore; mais, quand, après avoir chauffé le bronze au rouge, on le laisse refroidir lentement, Il n'a subi aucune altération. La trempe du bronze est inexplicable, sous l'empire de cette théorie; elle est des plus élémentaires, quand on admet la simple dissolution.

L'état de dissolution n'est pas un obstacle à la cristallisation des corps; il ne peut donc être invoqué comme preuve qu'il y a combinaison.

Quand on amalgame le *sodium,* la réaction est si violente que le composé devient rouge. Oui, mais il est solide. *Berzélius* y voit une double preuve de la combinaison; M. Jullien n'y voit que du calorique latent rendu sensible par la solidification du mercure et, probablement aussi, du calorique dissous rendu disponible par suite de la contraction. Il dit *probablement,* parce que les traités de chimie ne disent pas si, dans ce cas, il y a contraction ou non.

Pourquoi le *mercure* ne s'évapore-t-il pas sous l'influence de cette température rouge, puisqu'il s'évapore si facilement, quand il est en dissolution dans l'*or* solide?

Parce que, d'une part, la force dissolvante du *sodium* solide, pour le *mercure,* est analogue à celle de la *baryte* pour l'*eau*; d'autre part, la force dissolvante de l'*or* solide, pour le *mercure,* est analogue à celle de la chaux vive, du *sulfate de soude anhydre,* de *chlorure de calcium* sec pour l'*eau.*

M. Jullien démontre, plus loin, que les composés solides que forme l'eau avec la *baryte,* la *chaux,* le *sulfate de soude,* le *chlorure de calcium* sont de simples dissolutions d'eau solide amorphe dans ces substances et que la chaleur développée, pendant la réaction, est le résultat de la solidification de l'eau et de la contraction.

Le zinc du commerce amalgamé se comporte, dans la pile, comme le zinc pur. Si on admet qu'il est combiné au mercure, ce fait est inexplicable; mais, si on admet qu'il est, simplement et à l'exclusion des métaux étrangers qui le souillent, dissous dans le mercure, l'explication de ce fait est des plus simples. L'acide, sans action sur le mercure, réagit sur le zinc pur et dissous qu'il n'attaque que quand les deux pôles de la pile sont en communication.

M. Jullien termine en disant que si, au pis aller, on admet que ses démonstrations, en faveur de la simple dissolution, ne sont pas plus concluantes que celles des chimistes, partisans de la combinaison, qu'on veuille bien se reporter aux explications qui dérivent des deux théories. La démonstration *a priori* étant insuffisante, celui-là doit être dans le vrai qui confirme sa théorie par l'explication des phénomènes qu'accusent les composés qu'il envisage.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS

NOTE

SUR

l'outillage nouveau et les modifications apportées dans les procédés d'enrichissement des minerais.

PAR MM. HUET ET GEYLER.

La préparation mécanique des minerais ayant subi dans l'outillage employé et dans les méthodes suivies de notables transformations, nous nous proposons, par cette note, de les signaler à l'attention de ceux qui s'intéressent à cette branche importante de l'exploitation des mines.

MÉTHODE ANCIENNE.—Le lavage des minerais reposait, il y a peu d'années encore, dans les usines de préparation bien conduites, sur les deux principes suivants :

Pousser le triage à la main, aussi loin que possible.

Diviser les matières à soumettre au traitement en autant de classes qu'elles contiennent de minerais ou de gangues différentes, et même pour un minerai et une gangue donnés, faire plusieurs classes de richesses diverses ; chaque classe subissant à part un travail spécial approprié à sa nature.

Cette méthode présentait en effet des avantages bien réels.

D'abord, tout ce qui était obtenu par le triage à mains échappait aux pertes que produit toujours le travail aux machines.

Puis, le soin d'isoler en classes, par nature de minerais, de gangues et de richesses, avant de soumettre à l'enrichissement mécanique les produits trop pauvres pour la fonte, rendait ce travail plus facile et donnait lieu à moins de déchets.

Mais, par contre, faire passer tous les produits de la mine sur les bancs de cassage, les isoler par un triage à mains, fait avec le soin convenable pour une certaine efficacité, était toujours une main-d'œuvre très-dispendieuse.

Enfin il fallait encore, pour pouvoir laver chaque classe à part, attendre qu'on en eût accumulé une certaine quantité mise provisoirement en dépôt, ce qui nécessitait des encombrements et de nombreux remaniements.

En résumé, ce procédé de traitement, s'il se traduisait par l'avantage de réduire le déchet à son minimum, avait pour inconvénient d'exiger de lourdes dépenses en main-d'œuvre, et de laisser en inactivité un capital important représenté par les matières accumulées ou en roulement dans les laveries.

L'élévation rapide et constante de la main-d'œuvre, dans presque toute l'Europe, a forcé de modifier ces anciens errements : on a préféré alors subir les déchets pour économiser une main-d'œuvre devenue plus coûteuse que les pertes dues au travail mécanique.

Méthode nouvelle. — La préoccupation actuelle consiste donc :

1° A diminuer autant que possible l'intervention des ouvriers, par la généralisation des moyens mécaniques, à rendre l'exécution plus rapide, pour éviter l'accumulation des matières et diminuer par conséquent les pertes d'intérêts;

A rendre traitables, par la promptitude de l'exécution, des matières jadis réputées stériles et rejetées comme telles, alors que leur enrichissement s'opérait manuellement sur des outils grossiers et imparfaits;

2° A réduire peu à peu, par un perfectionnement incessant de l'outillage, les déchets, acceptés déjà comme moins onéreux que les dépenses de main-d'œuvre, et à remplacer les soins intelligents des ouvriers par la précision mécanique.

Aujourd'hui, le travail aux bancs de cassage se trouve donc considérablement réduit; on se contente d'y passer seulement les morceaux capables de fournir immédiatement des produits propres à la fonte; le reste, ne subissant qu'un choix rapide destiné à l'élimination de la plus grande partie du stérile, est directement envoyé à la laverie.

L'ensemble des usines nouvelles appelle principalement l'attention par une tendance très-prononcée à transformer en une action continue le jeu intermittent des appareils anciens, et à faire passer les matières, mécaniquement, d'un outil à l'autre, autant que cela est possible.

Ces préliminaires posés, nous allons maintenant décrire les appareils perfectionnés ou nouveaux, dont l'usage s'est répandu dans les ateliers de préparation mécanique.

Triage. — Avant d'entrer dans les laveries, le minerai brut sortant de la mine est généralement séparé en deux catégories bien distinctes : les *menus* et les *gros*.

Les menus de la mine entrent de suite à l'usine pour y être immédiatement soumis au débourbage et au classement.

Les gros sont le plus ordinairement partagés en deux classes :

Les gros riches pour triage à la main devant donner immédiatement des matières bonnes à fondre;

Les gros, regardés comme trop pauvres pour le triage, et bons seulement à être broyés pour être livrés ensuite au traitement des divers appareils de lavage.

Les minerais dont on tire ces deux dernières classes se présentent ordinairement en fragments d'une assez grande dimension; il en résulte la nécessité de les rompre à la masse, soit pour en opérer le scheidage, soit pour obtenir des volumes capables d'être dévorés par les broyeurs à cylindres.

Ce cassage, coûteux de main-d'œuvre produit toujours une très-notable quantité de poussières; mais, tout récemment, une machine de provenance américaine est venue modifier avantageusement l'économie de ce travail préparatoire.

Machine a casser. — Le mode d'action de ce nouvel engin a été copié sur celui de la mâchoire humaine, et en voyant fonctionner cet appareil, il semble que l'on assiste au repas d'un mastodonte fantastique, dévorant sa pâture.

L'outil (Pl. XLIV, fig. 1 et fig. 2), tel qu'il nous a été importé d'Amérique, se compose d'une pièce fixe A, représentant la mâchoire supérieure de l'homme, et d'une autre pièce mobile B, figurant la mâchoire inférieure.

Voici maintenant le détail de l'agencement complet :

A un arbre coudé C, armé de deux volants et animé d'un rapide mouvement de rotation, est attelée une bielle D dont l'attache inférieure est reliée à l'extrémité E d'un balancier horizontal qui, par son autre bout F, repose à articulation libre sur le bâti même.

Une pièce verticale G repose librement sur le balancier et reçoit à son tour, toujours à articulation libre, les deux pièces H et H'.

La pièce H' butte sur la traverse fixe I, tandis que H presse sur la mâchoire mobile B.

La pièce I peut être à volonté rapprochée ou éloignée à l'aide du coin K manœuvré par le boulon L. On règle donc ainsi l'ouverture des mâchoires A et B, conformément aux besoins; O est un ressort pour rappeler la mâchoire.

La manière d'agir de l'outil est maintenant facile à comprendre :

L'arbre C étant en rotation, la bielle D actionne le balancier, de sorte que G s'élève ou s'abaisse avec lui; or, G s'élevant, la position des pièces H et H' tend vers l'horizontale, et par conséquent I étant invariable, il faut alors que la mâchoire B se referme.

On conçoit donc que les pierres engagées entre les deux mâchoires sont fortement pressées à chaque coup donné par la mâchoire B, et que,

en vertu de leur poids, comme elles tendent à descendre lorsque celle-ci s'ouvre, elles cessent seulement d'être brisées, alors qu'elles peuvent s'échapper par l'espace inférieur qui limite la grosseur à produire. Cet espace, nous l'avons dit, se règle à volonté.

Les morceaux à livrer à ce concasseur peuvent avoir 0,m25 sur 0,m40; les grenailles à en obtenir peuvent varier de 5 à 100 millimètres.

La machine donne de 140 à 200 coups par minute, suivant la vitesse et la nature des matériaux qui lui sont livrés, elle demande une puissance motrice de 7 à 12 chevaux.

Le travail effectué varie avec la nature des minerais; ainsi, avec des matières dures, quartzeuses ou amphiboliques, nous sommes parvenus à un rendement de 75,000 à 100,000 kilog. en dix heures, et nous croyons qu'avec quelques modifications à la machine, il nous sera possible de faire plus encore.

A Carnoulès (Gard), une machine casse des minerais de plomb d'une dureté proverbiale. Les machoires étant réglées pour que les morceaux les plus gros ne puissent pas dépasser 3 à 4 centimètres, on produit par heure 4,000 kilog., et l'on compte bien dépasser ce chiffre : le moteur employé développe une puissance de 6 à 7 chevaux environ.

A l'usine de Colombes, où M. d'Arcet utilise cette machine pour concasser ses boghead avant la distillation, avec une puissance de 7 à 8 chevaux, on produit seulement 3,000 kilog. à l'heure; mais vu la différence de densité, cette production représente certainement au moins 4,000 kilog. d'une roche compacte. Du reste, il est incontestable que le boghead offre une certaine difficulté provenant de la grande élasticité dont il est doué. Soumis à l'action de la machine, on le voit en effet se comprimer sous l'effort de la mâchoire et revenir après la pression à sa position initiale, absolument comme ferait un morceau de caoutchouc.

Enfin, qualité précieuse au point de vue spécial qui nous occupe ici, la production des poussières est moindre avec cette concasseuse que la quantité qui se produit par le cassage à la masse, et bien moindre surtout que celle donnée par le cylindrage.

Bien que nouvellement venue, cette machine a déjà subi d'assez heureuses modifications.

Dans le dernier type (Pl. XLIV, fig. 3 et 4) étudié dans les ateliers de MM. Parent, Schaken, Caillet et Cie, où la machine se construit, nous avons supprimé le grand balancier, de sorte que l'arbre moteur placé directement au-dessus de la pièce G qui est transformée en une bielle, actionne, sans autres transmissions, les volets H et H' sur lesquels la bielle est articulée, en imitant la jonction de l'humérus à l'avant-bras. La mâchoire fixe a pu recevoir l'inclinaison que la pratique nous a démontrée convenable. Cette inclinaison, en élargissant l'ouverture d'introduction, permet de livrer à la mastication des morceaux d'un plus gros volume;

les parois latérales inclinées aussi en s'évasant du haut vers le bas, s'opposent à la formation des voûtes et facilitent ainsi le dégorgement. Enfin tous les détails, étudiés avec un soin minutieux, donnent à l'outil une sécurité à toute épreuve. L'agencement général est disposé de telle sorte que la machine peut être réglée en marche avec la plus grande facilité en manœuvrant le coin rejeté à l'arrière, de même qu'un petit cylindre à vapeur peut être fixé sur l'un des flancs du bâti, pour, au besoin, commander directement l'arbre moteur.

Quel que soit le type dont on fera usage, on comprend l'immense intérêt que présente ce nouvel outil, en supprimant avantageusement le cassage à la masse et tous ses inconvénients.

Les produits du concassage doivent être reçus dans un trommel séparateur qui, isolant les grenailles bonnes au criblage, rejette les morceaux plus volumineux, soit sur les bancs de scheidage, soit dans un broyeur à cylindres.

Avant d'aller plus loin, nous nous empressons de dire que, pour l'étude de toutes les machines ou appareils dont il sera question dans cette note, et dont la construction s'effectue dans les ateliers de MM. Parent, Schaken, Caillet et Cie, nous avons été très-puissamment secondés par M. Ling, ingénieur en chef des ateliers. A son active et si intelligente collaboration, nous devons d'avoir pu surmonter toutes les difficultés que présentait le programme que nous nous étions proposé au début, et sans le secours d'un homme d'un esprit mécanique si éminemment pratique, peut-être nous eût-il été bien difficile d'arriver à la réalisation des conditions imposées par les nécessités du travail à accomplir. Qu'il veuille donc accepter ici l'expression de nos remercîments sincères.

Broyage. — Le scheidage ou triage à main étant exécuté, l'opération par laquelle débute toute préparation mécanique de minerais, consiste à diviser la matière en fragments assez menus afin de dégager les parties métallifères des gangues dans lesquelles elles sont emprisonnées en particules plus ou moins grosses.

L'expérience ayant démontré que le déchet au lavage augmente avec la finesse des produits, il est très-important de concasser aussi gros que possible, pour éviter la production des poussières. Or, comme au-dessus de vingt-cinq à trente millimètres, les cribles n'agissent plus d'une manière efficace sur les grenailles qui sont soumises à leur action, il en résulte naturellement que cette grosseur détermine la limite maximum du volume à obtenir en toutes circonstances. Au-dessus de cette dimension, du reste, le triage à la main semble être plus économique.

D'un autre côté, il est clair que si le concassage produisait des fragments plus gros que le volume des grains métallifères empâtés dans les gangues, l'isolement du riche et du stérile ne serait alors obtenu que

d'une manière très-imparfaite, et le travail aux cribles ne livrerait conséquemment qu'une faible quantité de produits utilisables.

De ces observations, il résulte que la grosseur maximum des grains à obtenir par le concassage doit être en rapport avec la dimension des parties métallifères à isoler, telles qu'elles se présentent dans le minerai brut.

Un laveur expérimenté déterminera toujours facilement la limite convenable de son concassage par l'inspection de son minerai brut et après un petit nombre de tâtonnements.

Quant aux produits obtenus par cette première opération, on conçoit facilement qu'ils seront de toutes les grosseurs comprises entre le calibre maximum dont on aura fait choix, jusqu'aux poussières les plus impalpables; toute l'habileté consistant à produire le moins possible de ces dernières.

Broyeurs a cylindres. — Primitivement, on le sait, le travail du concassage était exclusivement accompli par des pilons ou bocards; mais depuis déjà assez longtemps, les Anglais y ont substitué les cylindres broyeurs, dont l'usage s'est rapidement répandu presque partout, leur emploi présentant des avantages incontestables. D'une conduite plus facile que les pilons, ils peuvent, dans un même temps, passer une plus grande quantité de matières, en produisant plus de grenailles et moins de poussières. Très-faciles à régler, leur emploi permet de rapprocher le rendement en grenailles le plus près possible du calibre désiré. Quoique s'usant encore trop rapidement, ils n'ont pas, néanmoins, sous ce rapport, les graves inconvénients qui résultent toujours des machines à chocs. Ils sont, enfin, moins encombrants et d'un premier établissement plus économique que les bocards. En un mot, leur introduction dans les ateliers de préparation mécanique doit être regardée comme un progrès capital dont l'influence se fait sentir encore aujourd'hui.

Comme il arrive à tous les outils dont l'utilité est incontestée et dont les bons services ont été reconnus par une longue pratique, les broyeurs à cylindres ont eu à subir de fréquentes et heureuses modifications, lesquelles, atténuant les défauts inhérents à leur mode d'action, ont complété leurs qualités. Sans vouloir insister ici sur les détails qui composent cette machine dont la construction est suffisamment connue, signalons cependant quelques-uns des perfectionnements les plus importants dont elle a été dotée peu à peu.

Pour remédier à des ruptures fréquentes, on a imaginé de rendre mobile l'un des broyeurs, de telle sorte qu'il peut éprouver un mouvement de recul, dans le cas assez habituel où un morceau de minerai trop gros ou trop résistant vient à s'engager entre les deux cylindres. Cette nécessité du recul ayant été admise, il a fallu déterminer l'effort sous lequel devrait et pourrait se produire l'écartement.

A cet effet, on a appuyé les tourillons de l'un des cylindres sur un obstacle dont la résistance doit être égale à la pression sous laquelle doit s'accomplir le travail normal. Un levier à contre-poids a d'abord satisfait à la réalisation de cette condition; on y a bientôt substitué des ressorts en acier ou en caoutchouc, qui sont préférables à l'agencement primitif, puisque avec eux la résistance s'accroît à mesure que l'écartement se produit en les comprimant, et qu'aussi leur disposition plus condensée permet de diminuer considérablement l'espace, en supprimant la longue queue du levier et son contre-poids.

Ajoutons encore que, pour obvier à l'usure rapide des surfaces travaillantes, on a été conduit à garnir les cylindres primitivement faits d'une seule pièce de fonte, d'une bague en fonte fortement trempée, ou même en acier, qu'il est facile de remplacer lorsque, suffisamment rongée, elle été rendue impropre à un bon service. Enfin, disons encore que l'adjonction d'un volant, en complétant l'outil, n'a point été sans une bonne influence sur la régularité de son fonctionnement.

En général, la longueur des tables des cylindres broyeurs est constante et comprise entre $0^m,200$ et $0^m,300$, tandis que les diamètres varient en raison de la grosseur des morceaux que l'on se propose de soumettre à leur action. Les plus grands atteignent quelquefois le diamètre de $1^m,20$, rarement les plus petits descendent au-dessous de $0^m,200$.

Les broyeurs à cylindres, depuis $1^m,200$ jusqu'à environ $0^m,700$ de diamètre, servent au premier broyage des produits bruts de la mine, trop pauvres pour passer au triage à la main, pourvu, toutefois, qu'ils ne dépassent pas un volume capable de permettre le happement; au-dessus de cette dimension, ils doivent être préalablement brisés à la masse.

Les autres broyeurs, ceux au-dessous de $0^m,700$, jusqu'à $0^m,400$, servent à compléter le broyage des morceaux trop gros rejetés par les premiers ou par le concasseur.

Enfin, les broyeurs plus petits de $0^m,400$ à $0^m,200$, ne sont employés que pour les reprises des matières mixtes provenant des criblages divers: lorsqu'ils deviennent impuissants, il faut alors recourir aux bocards.

Le concasseur américain, dont nous avons parlé plus haut, est évidemment appelé à remplacer les gros broyeurs de $1^m,200$ à $0^m,700$.

La planche 44 (fig. 5 et 6) donne le type d'un broyeur de $0^m,550$ de construction allemande; la planche 44 (fig. 7 et 8) donne le type de diamètre que nous avons adopté, et représente un broyeur de $0^m,900$.

Produits du broyage.—Quel que soit le procédé par lequel le broyage a été opéré, les produits qui en résultent se divisent en grenailles, en sables gros et fins et en boues, les limites de ces divisions sont assez arbitraires et donnent lieu souvent à des malentendus. Cependant, d'une manière générale, on appelle *grenailles* toutes les matières suffisamment grosses pour refuser le passage à travers les trous d'une tôle perforée

à 5 millimètres; *gros sables*, tous les grains au-dessous de 5 millimètres, refusant le passage par les trous de 3/4 ou 1/2 millimètre, mais encore criblables. Quant à la séparation des sables fins et des boues, il est plus difficile d'en fixer la limite convenablement. On peut dire, néanmoins, que le plus ordinairement on considère comme *sables fins* tous les produits ayant traversé la tôle de 3/4 ou 1/2 millimètre, et dont on peut apprécier le volume par le toucher; les autres matières, dont la constitution grenue ne peut se reconnaître par ce moyen sont appelées boues.

Quant à nous, nous préférerons une division plus simple et plus conforme au travail, et appelons *grenailles* tout ce qui est criblable; de sorte que nous n'avons que des *grenailles*, des *sables* et des *boues*. En réalité, ce qui doit établir une véritable distinction entre les classes provenant du broyage, ce sont les appareils différents sur lesquels peut s'accomplir le traitement pour enrichissement.

Traitement des grenailles. — Le principe du traitement de tout ce que nous avons appelé grenailles, est basé sur la différence des densités des matières, constituant le mélange sur lequel on doit opérer la séparation. Mises toutes ensemble en suspension dans une eau tranquille, après avoir été classées par volumes approximativement égaux, les plus pesantes, on le sait, gagneront le fond avec plus de rapidité que les légères, et s'isoleront ainsi en catégories distinctes. Cette faculté de séparation se faisant sentir d'autant mieux que les fragments sur lesquels on agit ont des volumes plus égaux et des formes plus identiques, on doit tendre à classer, autant que possible, les matières de criblage par catégories de grosseurs semblables.

Classement. — Un bon classement, bien approprié à la nature et à la composition plus ou moins complexe du minerai à traiter, doit donc être considéré comme de première nécessité et comme étant la principale condition à remplir pour obtenir une séparation rapide et aussi complète que possible.

Il faut cependant se garder aussi de l'exagération, car si théoriquement, on doit multiplier le nombre des classes à cribler; d'autre part, la pratique démontre que ce soin doit être arrêté à de certaines limites, passé lesquelles il devient une source de dépenses sans profit.

En effet, deux numéros de produits classés étant donnés, chacun d'eux contiendra évidemment des grains maxima et des grains minima; et si les calibres de perforation ayant servi à produire ces deux classes voisines sont très-rapprochés, il en résultera que les différences de volumes entre les grains obtenus seront inappréciables, c'est-à-dire que les maxima et les minima de l'une ne différeront pas sensiblement des maxima et des minima de l'autre.

D'un autre côté, les conditions théoriques les plus soignées se trouve-

raient détruites par les grains de forme irrégulière, par les fragments esquilleux, allongés, qui, ayant une section conforme au calibre, s'introduisent dans une classe dont ils devraient être pourtant éliminés en considération de leur volume; enfin les influences réciproques, pendant le criblage, sont encore une nouvelle cause de perturbation dont pratiquement il faut bien tenir compte.

Heureusement, l'expérience ayant constaté qu'un mélange de volumes peu différents n'oppose pas d'obstacles sérieux à une séparation convenable, quand le rapport entre les grains de deux classes successives, ne dépasse pas celui de 100 à 40; il n'y a donc pas nécessité de multiplier les numéros de perforation au delà d'une certaine limite, pour obtenir un criblage satisfaisant.

On doit même observer encore qu'en général, un minerai ne contenant qu'un seul métal avec ses gangues est d'un criblage plus facile qu'un minerai qui contient plusieurs métaux, par suite qu'il y a lieu, dans le premier cas, de restreindre le nombre des classes à produire.

Ainsi donc, une série complète et rationnelle de perforation étant déterminée, on voit qu'il n'est pas utile de s'astreindre à en faire usage dans tous les cas. Elle doit être considérée et prise comme un type extrême de soins et de précautions, toujours susceptible de modifications, variant avec la simplicité du minerai et sa tendance à une séparation facile.

Économiquement parlant, un classement trop minutieux, en augmentant le nombre des catégories à traiter séparément, augmente très-sensiblement les frais de premier établissement de l'outillage, tandis qu'un classement trop grossièrement fait retarde le criblage et le rend moins parfait. Il y a donc entre ces deux extrêmes une limite que la pratique et la nature du minerai peuvent seules indiquer à l'œil exercé, limite qui donnera le minimum des frais de traitement aux cribles.

Toutes ces considérations, bien comprises par les praticiens intelligents, ont nécessairement entraîné à des modifications sensibles dans l'emploi et les dispositions des appareils de classification.

Appareils de classement. — Trommels. — Le trommel est l'appareil employé aujourd'hui, on peut dire sans concurrence, pour la classification des minerais. Analogue aux blutoirs des meuneries, c'est un cylindre incliné ou un tronc de cône creux, dont l'enveloppe est formée de tôles perforées; à l'intérieur, il reçoit les matières à classer, pour les rendre par sa surface enveloppante, à mesure qu'elles s'échappent par les trous des tôles. Il a été substitué, comme on le sait du reste, aux ratters ou tamis à secousses. Ces détails étant connus de tous, nous n'avons pas à nous y arrêter.

Jadis et assez communément encore, les matières broyées à soumettre à la classification étaient introduites dans un premier trommel qui, iso-

lant plusieurs classes bonnes au criblage, en réservait une autre pour être livrée à un deuxième trommel, lequel opérait de même et ainsi de suite, jusqu'à complet classement.

On comprend facilement le vice de cette méthode, d'où il résulte que le premier trommel étant chargé de la totalité des matières, s'en trouve encombré, chargé outre mesure, et par suite s'use rapidement, en même temps qu'il donne un classement très-imparfait.

Trommels séparateurs. — Un procédé plus logique et plus avantageux s'est alors introduit dans les ateliers bien compris, et voici en quoi il consiste : Au lieu d'envoyer les produits du concassage immédiatement dans les classeurs, on fait d'abord usage d'un trommel séparateur qui, placé directement sous les broyeurs, reçoit toutes les matières qui s'en échappent, ces matières se composant naturellement de grenailles de deux espèces, savoir : les fragments trop gros pour subir le criblage et à rebroyer; les fragments bons pour cribles, à classer.

Les morceaux pour rebroyage sont déversés dans de nouveaux concasseurs, ou sont ramenés par le trommel lui-même à l'action du concasseur dont ils se sont échappés; dans ce dernier cas, le trommel est dit séparateur à retour.

A retour ou non, la principale fonction des trommels séparateurs est de diviser les matières criblables en deux grandes catégories, allant, chacune séparément, dans un trommel classeur spécial où le classement s'accomplit. Par cette ingénieuse disposition, on arrive à diviser la charge totale en deux portions, grosses grenailles et petites grenailles, les unes allant d'un côté, tandis que les autres vont de l'autre, et les trommels classeurs n'ont plus à recevoir chacun que la moitié environ du poids qu'il s'agit de traiter. Par conséquent, les grains ont moins de tôles à traverser, moins de chemin à parcourir, une grande partie des frottements est évitée, ce qui réduit la quantité des poussières produites; l'usure des tôles est aussi moins rapide; enfin l'encombrement ne nuisant plus au classement, il est mieux fait. Cette disposition, qui n'exige pas un plus grand nombre d'appareils, permet sans inconvénients d'obtenir des classeurs, dans un même temps un rendement plus grand.

Les figures 9 et 10, Pl. 45, indiquent un séparateur double à retour, avec roue élévatrice adhérente.

Trommels classeurs. — Quant aux trommels classeurs, ils ont subi diverses transformations. Les petits trommels coniques superposés, dont le premier recevait toute la masse à classer pour n'isoler que les grenailles les plus grosses par une seule division, ont été, depuis l'introduction des séparateurs, supprimés presque partout, pour faire place à des appareils de diamètres plus grands et produisant plusieurs classes. Ces derniers, moins chargés de matières, font plus et mieux; chaque grain

trouvant plus facilement son passage au milieu de la masse, peut, sans trop de perturbations, gagner le trou par lequel il doit s'échapper.

Les trommels, lorsque les diamètres, les inclinaisons et les vitesses de rotation sont judicieusement combinés avec les quantités de matières à passer dans un temps donné, réalisent un classement que l'on peut dire satisfaisant, bien qu'il ne soit pas cependant irréprochable.

Une objection sérieuse, cependant, leur a été faite souvent : c'est que, recevant les grenailles sur les tôles les plus finement perforées, placées en tête, il en résulte nécessairement : 1° l'encombrement et l'obstruction très-nuisibles des trous de perforation par les grains trop gros, et cela justement au moment où la classification demande la régularité la plus grande; 2° l'entraînement par adhérence des grains les plus petits par les plus gros, vers une division à laquelle ils n'auraient pas dû parvenir; 3° enfin, l'usure que nous avons déjà signalée; usure qui devient d'autant plus onéreuse que les numéros de perforation sont plus petits, puisque, dans ce cas, ils exigent l'emploi de feuilles de cuivre.

Depuis longtemps, par des dispositions variées, on a tenté de corriger ces imperfections.

D'abord on a employé cette série de trommels coniques, ne portant chacun qu'un seul numéro de perforation; ces trommels, placés par étages successifs et se déversant les uns dans les autres, celui de plus gros calibre placé en tête, présentaient ainsi une cascade dont les trous allaient en diminuant. Mais la pratique n'a pas sanctionné l'usage de cette disposition qui, si elle réalise d'abord l'isolement des grains les plus gros pour finir par les plus petits, entraîne à sa suite des inconvénients suffisamment sérieux pour motiver son abandon : elle nécessite en effet une très-grande hauteur, et quelle qu'elle soit, elle se prête mal au service des remaniements. Pour une surface de tôle jugée utile et nécessaire à un bon classement, elle exige un emplacement plus développé que tous autres systèmes, même en donnant aux trommels un petit diamètre; or, c'est là un fait pratique à noter, que les diamètres trop petits nuisent au classement. Enfin, chaque trommel devant porter son arbre indépendant, avec ses tourillons, paliers, croisillons, etc., et tous autres accessoires de transmission, ces complications d'établissement entraînent, comme il est facile d'en juger, à une dépense inutile et à un enchevêtrement gênant de courroies, de chaînes ou d'engrenages pour la transmission.

Pour toutes ces raisons, cette disposition est très-rarement adoptée.

Installée à la laverie Dorothée (Hartz), elle a été imitée dans la belle usine de Ems, qui certainement est des plus beaux types que l'on puisse citer, soit comme disposition d'ensemble, soit aussi comme marche du traitement, eu égard à la qualité du minerai et au but qu'on s'est proposé.

Trommel-Boudehen. — Un arrangement plus heureux proposé par M. Boudehen, a été adopté et mis en application dans les laveries de Pontpéan (Ille-et-Vilaine) : il consiste en un cone à enveloppe pleine, régnant sur toute la longueur de l'appareil, garnie intérieurement d'une série de tôles perforées, placées concentriquement à cette enveloppe, les trous de perforation les plus grands étant placés en tête du trommel, et l'espace libre entre les enveloppes concentriques étant d'environ 15 centimètres. Chaque tôle perforée est séparée de celle qui la suit par une rigole garnie d'une hélice disposée de telle sorte que les fragments les plus gros, retenus sur la tôle perforée, sont, après avoir gagné cette rigole, évacués dehors par un seul trou disposé à cet effet, tandis que les grains qui ont traversé la tôle perforée pour tomber sur l'enveloppe pleine, sont relevés pour être répandus sur la tôle perforée suivante, et ainsi de suite.

L'arbre de ce trommel est fixe et creux, et disposé de manière à arroser continuellement les matières qui parcourent le trommel. Le cône tourne donc sur son axe immobile.

La description de ce trommel a été publiée avec les plus grands détails dans le bulletin de l'*Industrie minérale* et dans la *Revue universelle* [1].

M. Bronne, membre de notre Société, qui a dirigé l'exploitation de Pontpéan, a pu constater la bonne marche de cet engin de classement, dont il tirait, dit-il, des produits de très-bonne qualité.

Trommel Huet et Geyler. — Nous avons adopté nous-même une disposition analogue, ayant pour but de satisfaire aux mêmes conditions.

Comme le précédent, notre trommel (fig. 10 et 21, Pl. 45) est conique à double enveloppe, et son arbre fixe creux aide à produire l'irrigation intérieurement.

Les matières brutes livrées en tête par l'extrémité O, entraînées par la rotation et obéissant à la conicité, se répandent sur la tôle perforée T. Une partie des grains traverse cette enveloppe et tombe sur la tôle pleine T, tandis que les plus gros fragments retenus sur T' avancent pour venir tomber à leur tour dans une rigole circulaire D, laquelle munie d'autant d'orifices S. S. S. S. qu'on le veut, les dégorge au dehors.

Quant aux grains qui ont été déversés sur la tôle pleine, ils passent sous la couronne D par les espaces vides V. V. V. V., entre les orifices S. S. S. S., et arrivent ainsi cheminant sur une nouvelle tôle perforée T'. placée en prolongement de la tôle pleine T. Une nouvelle séparation se produit à nouveau, identiquement, comme il a été dit plus haut.

1. *Bulletin de l'industrie minérale*, t. VI, 4e livraison ; *Revue universelle*, 7e année, 2e livraison.

On peut donc imaginer une série aussi complète qu'on le voudra de tôles perforées, étagées les unes à la suite des autres, terminées chacune par une rigole d'évacuation, avec adjonction en dessous d'une tôle pleine. La dernière tôle perforée qui terminera le trommel sera seule exempte de ces additions.

Si l'on veut comparer les avantages et les inconvénients de ces deux appareils, on voit que le trommel Boudehen, par sa conicité non interrompue donne, pour un diamètre adopté au départ, un accroissement de volume moins rapide que celui qui est nécessité par notre disposition en étages, ce qui semblerait rendre sa construction plus économique; mais la disposition assez compliquée des hélices et la nécessité d'adopter des diamètres suffisamment grands pour permettre l'introduction à l'intérieur d'un homme pour le montage, vient balancer et au delà ce qui, dans le nôtre, paraît à première vue être plus coûteux.

Dans l'appareil de M. Boudehen, le dégorgement ne peut se faire que par un seul orifice, et le nettoyage n'y est possible qu'en s'introduisant intérieurement; il nécessite donc un arrêt. Notre système permet de multiplier à volonté les orifices de sortie, et nous pouvons, même en marche, opérer facilement le nettoyage, ce qui est d'une grande importance.

Après les trommels, il nous resterait à dire quelques mots des ratters ou tamis à secousses chargés d'accomplir le même travail. Mais ceux-ci ayant disparu de presque tous les ateliers, nous n'avons ici qu'à constater leur déchéance, et si nous en recherchons la raison, nous voyons :

Que le trommel avec son mouvement rotatif, doux et continu, fonctionne avec régularité en n'imprimant aux grains qu'un simple mouvement, de glissement; puis il absorbe peu de puissance motrice, et fait beaucoup de besogne sans être sujet à de fréquentes réparations.

Cependant sa construction nécessite une surface développée de tôles perforées, dont un tiers environ est seulement utilisé à la production du travail; et après usure de ces tôles, les réparations ou les changements ne se font pas toujours avec toute la facilité désirable, eu égard aux positions isolées de la plupart des laveries.

Dans les tamis, la surface des tôles à employer peut être limitée à la surface absolument utile, et le changement après usure se fait avec la facilité la plus grande. Mais la mise en mouvement d'un ratter exige une puissance motrice bien plus considérable que celle demandée par un trommel réalisant le même travail; donc en réalité il rend moins, et le classement s'y trouve moins bien exécuté, par suite des soubresauts dont les grains sont animés pendant tout le parcours des surfaces. Enfin, la répétition fréquente des chocs est une cause d'usure, d'entretien continuel ou de détraquement rapide de tout le système.

Pour toutes ces raisons, le trommel a donc détrôné le tamis. Ce déplacement sera-t-il permanent? nous ne le pensons pas, car le tamis nous

paraît susceptible de très-grands perfectionnements; et, s'ils se produisent, on le verra reprendre un jour dans les laveries la position qu'il y occupait jadis, et l'emploi du trommel sera alors limité à des cas particuliers.

Après le classement, les grenailles passent au criblage.

Criblage. — Les cribles sont de deux systèmes.

Dans les plus anciens, presque partout abandonnés aujourd'hui, si ce n'est pourtant en Angleterre, la grille est mobile avec le minerai qui y repose.

Dans les autres, au contraire, la grille est fixe, et le liquide y reçoit, par l'intermédiaire d'un piston, un mouvement alternatif qui soulève le minerai.

Le jeu de ces appareils est trop connu pour qu'il soit utile de s'y arrêter; mais le crible à piston, généralement employé sur le continent, y ayant subi des perfectionnements d'une grande importance, nous aurons à les signaler ici.

Avant d'entrer dans ces détails, disons de suite que le crible, quel que soit son système, son mode de construction plus ou moins perfectionné, reste encore l'outil dont on tire, en préparation mécanique, les résultats les plus satisfaisants. Comparés à tous les autres appareils usités, ce sont les cribles qui, dans un temps donné, permettent de passer la plus grande masse de matières avec le minimum de main d'œuvre et de déchet, et d'obtenir la séparation relativement la plus complète d'un mélange de minerais divers, quelque complexe qu'il se présente, du moment qu'on saura les manier avec intelligence. Aussi un laveur doit-il faire tous ses efforts pour en étendre l'emploi aussi loin que possible, et ce n'est qu'après avoir épuisé toutes les ressources dont ils sont capables, qu'il devra se décider à les abandonner pour faire usage des autres appareils. C'est aussi ce qui arrive aujourd'hui dans toutes les laveries soumises à l'impulsion d'hommes expérimentés. On voit, en effet, dans ces usines, soumettre au criblage, avec bénéfice, des matières n'ayant que 3/4 à 1/2 millimètre; matières qui, dans d'autres établissements moins bien guidés, sont traitées encore soit aux caissons, soit aux diverses tables, en y subissant les déchets que comportent ces outils.

L'opération du criblage, quelque rapide qu'elle soit, entraîne cependant à une dépense de main d'œuvre telle, qu'en de certains cas il n'y a pas, industriellement parlant, possibilité de traiter des minerais très-pauvres, hors d'état de couvrir les frais que nécessite le travail intermittent dû à l'enlèvement des zônes classées.

Traiter rapidement, et avec très-peu de frais, de grandes masses d'un minerai pauvre, en élevant convenablement sa teneur, pour pouvoir ensuite en achever l'enrichissement sur les cribles ordinaires, tel a été le problème que

se sont posé les ingénieurs s'occupant de la préparation mécanique des minerais.

Cribles continus dégrossisseurs. — Le crible continu, assez nouvellement introduit dans les ateliers de lavage, semble avoir résolu cette question si intéressante. Analogue aux laveurs employés en France, pour la première fois, dans les exploitations houillères, c'est aux ingénieurs de Hartz qu'on en doit l'application au traitement des minerais. Qu'il ait dit son dernier mot, qu'il soit arrivé à rendre tous les services qu'on est en droit d'en espérer, nous sommes loin de le penser, mais néanmoins, tel qu'il est actuellement, il constitue, en attendant mieux encore, un progrès considérable, puisqu'il permet déjà de travailler avec bénéfice des produits qui, sans lui, étaient jugés souvent comme bons à rejeter.

Avant de donner la description de ce nouvel outil, disons de suite qu'il ne doit être considéré que comme un auxiliaire des cribles ordinaires. Incapables aujourd'hui de finir le travail d'enrichissement en donnant des produits fondables, il est seulement un dégrossisseur très-avantageux, qui permet de réaliser ce qui avant lui était déclaré impossible. Prenant des matières pauvres à la teneur de 5, 3, et même 2 °/o en plomb, par exemple, il élimine presque sans frais une grosse partie des stériles, en livrant alors, pour l'achèvement aux cribles ordinaires, des matières notablement enrichies, dont le volume, par conséquent, a considérablement diminué.

Un crible continu (fig. 13 et 14, Pl. 45) se compose d'une trémie A, dans laquelle se déverse continuellement le minerai à enrichir, en s'étendant sur toute la surface de la cuvette B, dont le fond est garni d'une tôle perforée.

Une cuve à eau C, partagée en deux compartiments, reçoit d'un côté la cuvette B, et de l'autre le piston D, dont le mouvement alternatif imprime au liquide la puissance suffisante pour soulever le minerai, qui se classe par densité de la même manière que dans les cribles ordinaires.

Le minerai arrivant dans la cuvette d'une manière non interrompue, en remplit toute la capacité, et bientôt le stérile plus léger, amené à la surface, déborde par les quatre échancrures E E E E ménagées dans les coins, et s'échappe en coulant avec le liquide également expulsé dans le conduit d'évacuation L, pour être rejeté en M dans une brouette ou un wagonnet.

Pendant que le stérile est ainsi dégorgé par le haut à chaque coup du piston, les produits riches, au contraire, s'accumulent vers le bas, et lorsque la couche de dépôt est suffisamment épaisse, on soulève la soupape F à l'aide du levier G, et ces matières enrichies sortent par le tuyau H, pour de là être portées à l'enrichissement définitif sur les cribles finisseurs.

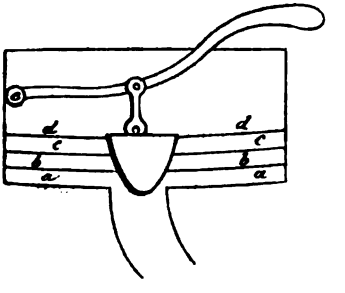
A chaque coup de piston, comme il sort un certain volume d'eau, et que l'ouverture du départ du riche en laisse aussi passer une certaine quantité, il est donc nécessaire de pourvoir à son remplacement; c'est par la vanne K qu'a lieu cette rentrée.

Quant à la soupape inférieure N, elle sert soit à vider le crible pour le nettoyer, soit à évacuer, à mesure qu'elles s'y accumulent, les matières assez fines qui ont pu traverser la tôle piquée formant le fond de la cuvette.

Nous avons dit que ce crible continu était impuissant à donner une séparation complète et finir le travail d'enrichissement.

Voici pourquoi :

Le minerai brut, au lieu d'être réparti uniformément sur toute la surface travaillante, n'y arrive que sur une faible portion, et par conséquent l'action réciproque des grains les uns sur les autres vient nuire à leur classement. Le tuyau central d'évacuation des riches trouble aussi la libre action de l'eau en occasionnant autour de lui des remous nuisibles au dépôt; enfin, si l'on suppose même un classement exact des matières par couches horizontales, il arrive alors que l'ouverture de la soupage F vient déranger cette superposition, et les matières, au lieu d'être évacuées par zônes horizontales, suivant le plan de leur stratification, s'échappent en formant un cône plus ou moins ouvert *a b c d*, qui appelle, en les mélangeant, diverses couches de densités différentes, et dérange leur classement primitif.



Telles sont les raisons principales qui font que le crible continu est comme nous l'avons dit, en y insistant beaucoup, un véritable dégrossisseur, et qu'il est actuellement impropre à produire un travail fini, capable de remplacer celui qu'on obtient des cribles ordinaires dans lesquels les matières classées sont enlevées avec soin par plans horizontaux. Mais, par suite de l'élimination des stériles, il abrége considérablement la besogne et la rend notablement moins coûteuse.

Lorsqu'on veut traiter un minerai simple, un seul crible suffit, puisqu'il enlève de suite les gangues nuisibles en ne laissant au fond que les matières utiles. Mais s'il s'agissait de traiter un minerai complexe, peut-

être alors y aurait-il grand intérêt à employer deux ou trois cribles se desservant l'un par l'autre, de telle sorte que les refus du premier viendraient se déverser dans la trémie du second, et les refus de celui-ci dans la trémie du troisième.

Par ce procédé, un minerai contenant par exemple galène, blende et gangues, traité par deux cribles, donnerait dans le premier des produits ne contenant guère que des morceaux de galène pure et d'autres qui tiendraient en mélange adhérent la galène et la blende, dans le deuxième quelques morceaux du mélange ci-dessus, ainsi que les blendes pures et des morceaux de blende avec gangues adhérentes. Les gangues pures ou légèrement blindeuses, seraient presque entièrement éliminées.

Dans la laverie d'Ems, on a pris un parti que nous n'avons pas à juger ici, et qui, probablement, résulte de conditions économiques particulières. La méthode suivie à Ems consiste à regarder les blendes comme gangues (sauf, bien entendu, les morceaux massifs qui ne passent pas par la laverie), et, par conséquent, à les éliminer avec les stériles. Aussi l'emploi des cribles continus y est-il poussé plus loin.

Ces cribles ont une grille de travail rectangulaire, divisée en deux parties par une cloison. Le minerai arrive sur la grille par l'un des petits côtés du rectangle, et marche vers le côté opposé. Par la première case, on recueille des galènes riches; par la seconde, des produits à enrichir; mais tous les refus vont aux bocards. Sur quelques-uns de ces cribles, on a supprimé la soupape du milieu pour la remplacer par une vanne appliquée sur la face opposée à l'introduction, de sorte que la grille de travail se trouve entièrement libre, et que le départ des fonds de criblées, au lieu de se produire par le centre, s'effectue par le côté.

En résumé, le crible continu est appelé à se répandre rapidement, à cause des services qu'il peut rendre. Il y a incontestablement grand intérêt à isoler du premier coup et sans presque de main d'œuvre, la plus grande partie des matières inutiles, car le finissage n'a plus à opérer que sur un volume considérablement condensé : l'avantage que l'on en peut tirer se fera sentir d'autant plus qu'il sera possible d'employer les cribles en nombre égal à celui des classes fournies par les trommels, chaque classe tombant directement dans son crible spécial, sans dépenses de main d'œuvre ni déchets de transbordement.

Dans une usine bien disposée, un gamin peut surveiller et desservir quatre cribles continus. Un crible peut passer par jour de 10 heures de travail de 6,000 à 4,000 kilogrammes de matières brutes.

Cribles finisseurs. — Les cribles finisseurs sont destinés à achever l'enrichissement des matières dégrossies par les cribles continus: les perfectionnements introduits dans leur construction permettent d'obtenir de leur fonctionnement des effets qu'il est impossible d'obtenir des cribles anciens.

Par la précision et la régularité de leur marche, il est devenu facile de les conduire mécaniquement, tout en opérant sur des matières qui, par leur ténuité, demandaient jadis le traitement à la main, et même de cribler aussi des produits dont l'enrichissement ne s'obtenait que sur les tables; les avantages sont précieux, puisque le criblage ne donne que peu ou point de déchet, relativement aux caissons ou aux tables qui en donnent beaucoup.

Les cribles finisseurs peuvent passer, en dix heures de travail, de 2,000 à 3,000 kilogrammes de matières brutes, c'est-à-dire de produits enrichis déjà par les cribles continus. La puissance motrice nécessaire et suffisante pour les mettre en mouvement, est d'environ 5 kilog-mèt. tandis que, pour les cribles anciens, elle est évaluée à 1/4 et même 1/2 cheval, et ceux-ci ne passent au maximum que de 1,800 à 2,000 kilogrammes.

Les figures 15 et 16 (Pl. 45) représentent un crible à piston plein et à mouvement différentiel, avec manivelle à course variable, destiné au traitement des grenailles, de 5 millimètres et au-dessus.

Un crible à piston flottant à ressort, à course et à choc variable, est indiqué par les figures 17 et 18. Il est employé pour le traitement des petites grenailles au-dessous de 5 millimètres.

Nous avons dit plus haut que le criblage pouvait être employé, comme limite extrême, pour le traitement des grains ayant refusé le passage à travers les tôles, dont la perforation est de 1/2 millimètre, mais nous devons ajouter encore que, pour rendre le criblage pratiquement utile, il est nécessaire, dans ce cas, de prendre une précaution indispensable, sans laquelle on échouera presque toujours; nous voulons parler du débourbage de ces fines grenailles.

En effet, avec des minerais argileux, il arrive presque toujours que les matières, classées par leur passage dans les trommels, entraînent avec elles, par adhérence, des boues en plus ou moins grandes quantités; or, ces boues, sans influence sur les grosses grenailles, sont une cause sérieuse de perturbation pour le criblage des fins; ces petits grains en sont enveloppés, ils les emportent avec eux dans les cribles, où leur présence devient un obstacle à l'enrichissement. Il importe donc de faire subir aux fins de criblage un débourbage préliminaire, et ce résultat s'obtient d'une manière aussi complète que possible, en les soumettant à l'action soit des trommels de notre système, soit à celle des cônes ou cylindre à double courant, dont nous aurons à parler plus loin, à propos du traitement des sables.

NOTE

SUR LES STEAMERS TRANSATLANTIQUES

LAFAYETTE ET WASHINGTON,

PAR M. JULES GAUDRY.

I

Les premiers essais de navigation par la vapeur, entre l'ancien et le nouveau monde, paraissent remonter à l'année 1835, et les traversées régulières à l'année 1839. Outre un grand nombre d'entreprises secondaires, l'Angleterre possède aujourd'hui trois grandes Compagnies transatlantiques, dont l'une, la Compagnie Cunard, possède au moins quarante steamers principaux.

On connaît quel beau service courant font ses paquebots, mus par des machines à balanciers latéraux et des roues à aubes.

A côté de ces bâtiments, dont le type le plus récent est la *Scotia*, il faut mentionner les bâtiments mixtes à hélice, tel que le *China*.

Outre leurs lignes principales, ces entreprises ont de nombreuses correspondances continentales admirablement servies, qui viennent verser leur contenu au transatlantique comme les rivières aux fleuves, et alimenter ainsi plusieurs départs hebdomadaires avec charge généralement complète. C'était donc sans trop de témérité que Brunel espérait réunir un fret suffisant pour son *Great-Eastern*, dont le service économique devait faire baisser le prix de transport. La preuve en est qu'on avance à grands pas vers les dimensions du malheureux steamer dont le principal tort fut de venir trop tôt. Plus heureux fut le *Great-Britain*, cet autre géant de son époque, qu'on ne distingue plus dans la multitude des grands steamers de première classe, dont se glorifie aujourd'hui la marine anglaise.

Moins favorisés en France, pour des raisons inutiles à rappeler, nous avons eu il y a vingt ans nos premiers transatlantiques entre le Havre et New-York, sans que notre industrie nationale pût fonder une entreprise

suivie; et jusqu'à ces derniers temps, notre service postal s'est fait par l'étranger.

Les deux principales tentatives furent celles des frégates à roues de 450 chevaux, que prêtait la marine de l'État, et, plus tard, les steamers à hélice éthero-hydriques.

Les armateurs américains, plus heureux, nous envoyèrent le *Franklin* et le *Humboldt*, beaux steamers en bois pourvus de machines à balanciers assez analogues à celles de Cunard. Après plusieurs années de bonne navigation, ils naufragèrent dans ces catastrophes inévitables de la mer, où les Anglais ont depuis quatre années fait de si désolantes pertes. Vinrent ensuite divers spécimens, plus curieux qu'imitables, des constructions américaines proprement dites, tels que le *Naswhill*, à machine unique, célèbre depuis comme corsaire; l'*Ocean-Queen*; le *Vanderbilt* avec sa formidable machine à balancier supérieur, sur bâtis de bois; l'*Adriatic*, qui reste encore l'un des plus grands steamers connus; ces deux derniers sont décrits dans nos *Annales*. Vinrent enfin l'*Arago* et le *Fulton*, pourvus de machines oscillantes inclinées vis à vis comme l'*Adriatic*. Ceux-ci, moins prétentieux, et dont la force nominale n'excédait pas 450 chevaux, faisaient un bon service suivi, lorsque la guerre d'Amérique les empêcha de traverser l'Océan. Nous ne dirons rien des bâtiments qui essayèrent à diverses reprises de prendre leur place sous divers pavillons, et nous saluerons l'apparition actuelle des paquebots de la Compagnie transatlantique française, trouvant enfin, au Havre inachevé, les conditions voulues que Liverpool possède depuis un demi-siècle.

Comme dans l'entreprise Cunard, il existera des bâtiments de première grandeur à très-grande vitesse pour les époques de l'année, où les voyageurs sont plus nombreux et des steamers moindres en tonnage et en vitesse pour les mortes saisons.

Le *Washington* et le *Lafayette*, qui sont déjà en service, sont au nombre des petits paquebots et sont à très peu près semblables. Ils sortent des chantiers de Scott, à Greennock, près Glascow. Leurs plans, comme ceux des autres steamers en construction en Angleterre et en France, ont été élaborés dans tous les détails pendant plusieurs années par MM. Forquenot et Lissignol, ingénieurs de la Compagnie. Le *Lafayette* a reçu de M. Scott la numéro de construction 101.

La coque est entièrement en fer, sauf les ponts, qui sont en pin rouge de Norwége, et les cloisons d'aménagement. Elle a 105m,60 de longueur à la flottaison, 13m,36 de largeur hors membre, et 122 mètres hors tambour. Le creux moyen est 9m,80. On y compte trois ponts proprement dits, plus un faux-pont aux deux extrémités, dans la cale : sur le pont supérieur, dit *spare-deck*, s'élèvent divers rouffs importants, et, sur l'avant, un gaillard ponté dit *teugue*, ce qui forme en tout cinq étages.

Sans entrer plus qu'il ne convient ici dans les détails d'aménage-

ment des ponts, il faut remarquer que les salons-réfectoirs sont sous le *spare-deck*, et qu'ils sont entourés par un rang de chambres à lits, naturellement les mieux pourvues d'air et de lumière; l'étage inférieur, dit du *main-deck*, contient deux rangs de chambres avec leurs vastes couloirs de communication, recevant la lumière du haut par de vastes panneaux pratiqués dans les ponts.

En outre, dans chaque chambre latérale il existe une et parfois deux de ces lucarnes à verre lenticulaire dites *hublot*. Les étages au-dessous du *main-deck* sont divisés à l'ordinaire, en magasins, soutes, etc.

On voit donc que l'aménagement de nos transatlantiques offre, pour ainsi dire, un moyen terme entre les steamers Cunard et le *Shannon* de la Compagnie péninsulaire. Dans celui-ci, les chambres sont en haut, sous le *spare-deck*; la salle est au-dessous, sur le *main-deck*. Dans les Cunards, au contraire, il n'y a pas de *spare-deck* proprement dit, mais sur le *main-deck* règne presque de bout en bout un vaste *roff*, avec un couloir découvert à l'entour, qui contient les salons, vestibules d'escalier, chambres d'officiers, capots de machine et d'aérage, etc.

Le quartier des passagers de première classe est, suivant l'usage, à l'arrière de la machine, dont on est séparé par l'épaisseur de la soute à houille dans tout le travers du bâtiment. A la suite des salons et chambres des passagers sont celles des premiers officiers, le quartier des dames et du maître d'hôtel, etc. En avant de la machine, et séparés de même entièrement par une soute à houille, sont les aménagements confortables et non sans élégance des passagers de seconde classe, ainsi que le carré des officiers de deuxième ordre, celui des domestiques où l'on compte 27 lits; et, tout à fait sur l'avant, le poste à 40 lits des matelots, sous lequel est celui des voyageurs de troisième classe, ce qui constitue un nombre effectif de lits pour 330 passagers.

La cale du fret a 1000 mètres cubes de capacité, et les soutes contiennent 1300 tonneaux de houille; le tonnage total réglementaire est 3400 tonneaux.

La décoration des chambres et salons en panneaux blancs vernis, est simple, claire, d'un entretien facile, et par là préférable aux somptueuses boiseries en bois des îles, usitées à bord des bâtiments d'Amérique et d'Angleterre.

Il est à peine besoin de dire qu'on a réuni dans nos transatlantiques les meilleures installations connues pour le confortable et la sécurité. Il y a des steamers à voyageurs plus luxueusement décorés; mais, après avoir visité les plus beaux paquebots de Cunard, de la malle royale, de Collins et autres, il nous est permis d'affirmer que nulle part plus que sur le *Lafayette*, les passagers jouissent de l'air, de la lumière, de l'indépendance, en un mot de tout ce qu'on recherche dans la cabine d'un navire comme dans toute chambre. Pour la sécurité, les passagers ont à leur disposition sept escaliers. Les cloisons dites étanches, en tôle à

chaudière, et littéralement dignes de leur nom, sont de même au nombre de sept; divisant le navire en huit compartiments distincts, dans le but de localiser les voies d'eau accidentelles. On se rappelle que, si des bâtiments connus ont dû l'accélération de leur naufrage à la vicieuse répartition de leurs compartiments étanches, le *Great-Eastern*, qui en compte 57, leur a dû, comme beaucoup d'autres navires, son salut dans une tourmente célèbre.

Il a été calculé que le *Lafayette* peut avoir sa chambre de machine entièrement remplie par les voies d'eau, sans qu'il y ait danger d'immersion pour le navire. Enfin, en cas de désastre, il existe à bord huit embarcations de sauvetage, dont deux de 9 mètres et les autres de 7 mètres.

Les magasins de vivres, de rechange et de voiles; les caves à vins, celle de l'eau où sont dix caisses en tôle galvanisée, contenant ensemble 52.400 litres; les glacières, bains, calorifères, office, cambuse, boulangerie, boucherie, pharmacie, en un mot tout l'arrimage excite l'intérêt de l'armateur. Mais c'est aux détails de construction de la coque et de la machine qu'il convient de nous attacher.

N'ayant pas à présenter le tracé des formes de la coque, je me bornerai à dire que les façons extrêmes à la ligne d'eau sont sensiblement égales et droites; la tonture ou relèvement des extrémités est assez prononcée. Les murailles latérales sont droites, sans évasement à l'avant.

Ce système peu compatible peut-être avec le type à grande dunette de Cunard, s'accorde mieux avec le pont complet dit *spare-Deck* du *Shannon* et du *Lafayette*. D'ailleurs le gaillard d'avant protége les manœuvres qui s'accumulent en cette partie du navire.

Contrairement à quelques types récents dont on conteste les résultats, MM. Forquenot et Lissignol ont adopté la classique quille centrale. Elle est en fer massif, haute de 32 centimètres sur 9 centimètres d'épaisseur, et est formée de dix pièces forgées raboutées à bec de flute, et réunies aux gabords par des rivets à têtes fraisées. L'étrave ou pièce d'avant qui fend le flot est droite au-dessus de l'eau et raccordée en bas avec la quille par un quart de cercle. Elle est dépourvue de toute saillie, de tout ornement. C'est une seule et même pièce de forge ayant 11 mètres de longueur développée. Il en est de même de la pièce verticale d'arrière dite étambot, qui porte le gouvernail. Celui-ci est également une belle pièce de forge recouverte de tôle, sur une carcasse soudée avec l'arbre principal qui a 20 centimètres de diamètre. La poupe ou partie arrière évasée du bâtiment au-dessus de l'étambot, privé aussi de tout ornement, est arrondie aux angles et aplatie au tableau, offrant ainsi la faible saillie à laquelle nous avaient habitués les constructions américaines, notamment l'*Adriatic*, et par conséquent un système bien différent du type Cunard, où la poupe ronde a beaucoup de surplomb, l'étrave un très-grand élancement; l'un et l'autre sont revêtus, ainsi que les tambours des roues, d'une décoration somptueuse.

Les couples de la membrure du *Lafayette* sont espacés de 50 centimètres et composés chacun de deux cornières ayant de 162 à 165 millimètres sur 100 millimètres. L'épaisseur varie de 14 à 16 millimètres.

Les varangues qui consolident les couples dans le bas, les deux paires de carlingues longitudinales qui relient les varangues, les pièces transversales dites baux et barrots qui portent les ponts, sont tantôt des fers spéciaux à boudins, tantôt des pièces composées de plaques de grosse tôle et de cornières, comme pour les ponts métalliques. Des plaques de tôle transversales, réunissant les varangues deux à deux, sont destinées à former sur le fond des poutres creuses qui empêchent les déformations dues aux poids des machines lors de la mise en cale. En outre, un lit de ciment est étendu sur le fond et recouvre les rivures pour protéger les têtes de rivets contre la destruction que peut produire l'eau de la cale dans le roulis.

Les tôles de recouvrement de la membrure, c'est-à-dire le bordé, ont une longueur de 3 à 6 mètres, une largeur de 1 mètre et une épaisseur variant de 16 à 26 millimètres; elles sont assemblées horizontalement et réunies par une double ligne de rivets de 26 millim. de diamètre, à tête fraisée; aucun cordon ne forme saillie; deux lignes de hublots apparaissent seules sur cette belle masse d'un noir uniforme, dont les lignes harmonieuses se passent d'ornementation.

Le bâtiment est gréé en brick comme les steamers Cunard, mais sans beaupré. Chacun des deux mâts se compose d'un bas-mât surmonté d'un hunier. La voilure totale est 885 mètres quarrés, soit 14 fois la section immergée du *maître-couple*.

Le compartiment du moteur a 26 mètres de long, sur tout le travers du navire et toute la hauteur jusqu'au *main-deck* ou second pont.

La machine proprement dite occupe le milieu entre deux groupes de chaudières, ayant chacun leur soute à la suite, en sorte que celles-ci sont aux deux extrémités du compartiment, et l'isolent des emménagements à passagers.

La machine appartient au système dit de Watt, à balanciers latéraux; l'arbre des roues est à 49 mètres de l'étambot et à 56 mètres de l'étrave, les cylindres sont tournés du côté de l'étrave et la pompe à air est de l'autre côté des condenseurs, lesquels sont au milieu.

On sait quelles vives divergences partagent les ingénieurs de marine et les armateurs, relativement au système de machine de bateaux à roues : Napier, Caird, les ingénieurs de la Compagnie Cunard, comme ceux de notre Compagnie transatlantique maintiennent hautement leur préférence pour les lourdes et spacieuses machines à balanciers, dont la solidité, le parfait équilibre, la rondeur de marche en tous temps, ont subi l'épreuve d'un *tiers de siècle*.

Les machines oscillantes, beaucoup moins spacieuses, mais plus délicates ont, seules, survécu parmi une multitude de systèmes. Elles ont de

nombreux partisans, surtout à Londres et en France. Penn, Miller, Scott-Russell, Mazeline, les recommandent avec la grande autorité de leur nom. C'est le système qui a été adopté en Angleterre par la Compagnie d'Holyhead, ainsi qu'en France pour les lignes du Brésil et du levant. C'est également le type adopté dans notre yacht impérial l'*Aigle* et dans les yachts nouveaux de la reine Victoria. Dans le yacht impérial de Russie, construit en France par M. Arman et l'atelier du Creusot, on a préféré les machines horizontales, à hauteur du pont, propres à ce dernier établissement, et connues sous le nom de système du Rhône.

Le moteur des nouveaux transatlantiques français a la force nominale de 950 chevaux, avec pistons de $2^m,40$ de diamètre sur $2^m,64$ de course, à peu près comme dans le *Shannon* de la Compagnie péninsulaire, ce qui est moindre que dans l'*Adriatic* et le *Scotia*, où les pistons ont $2^m,50$ de diamètre sur $3^m,66$ de course.

Dans le *Lafayette* la tige de piston a $0^m,264$ de diamètre au corps et $0^m,445$ à la grande base du cône d'emmanchement sur le piston. La pompe à air située du côté du condenseur opposé au cylindre à vapeur a $1^m,44$ de diamètre et $1^m,36$ de course. Les pompes alimentaires et les pompe de cale ont cette même course $1^m,36$ sur $0^m,26$ de diamètre.

Chacune des deux machines conjuguées a, pour la distribution de la vapeur aux cylindres, un excentrique moteur ayant $1^m,27$ de diamètre et $0^m,20$ de largeur au collier; il est calé sur l'arbre de couche avec une légère avance. Le tiroir est du système à dos courbe de Watt; le changement de marche se fait à l'aide de volants et d'engrenages. Tous les organes de conduite sont réunis dans l'allée centrale, à peu près à la hauteur du pont de cale et demandent en tout cinq hommes pour la mise en marche, la manœuvre des valves d'injection de vapeur, etc.

D'après le découpage des bandes obturatrices des lumières et l'avance angulaire de l'excentrique, voici quelles sont les données de la distribution normale pour la marche dite à pleine vapeur, les évaluations étant exprimées en fraction de la course du piston.

Avance à l'introduction de vapeur.	$0^m,02$
Durée de l'introduction	0 ,74
Détente.	0 ,18
Avance à l'échappement ou à la condensation	0 ,09

Les balanciers latéraux sont à doubles flasques, unies par dix entretoises spéciales, auxquelles s'ajoute l'entretoisement ordinaire des cinq tourillons d'axe et de bielles. Chaque flasque a été découpée suivant la forme usitée dans des tables de fer, longues de 8 mètres sur deux mètres de large et $0^m,065$ d'épaisseur, lesquelles ont été fabriquées à la façon des blindages des navires de guerre aux forges de Pétin et Gaudet.

Les bielles pendantes qui actionnent les balanciers ont $4^m,87$ de centre en centre et $0^m,26$ de diamètre au milieu renflé. La grande bielle mo-

trice a $5^m,94$ de long et $0^m,34$ centimètres au renflement. L'arbre porte-roue qu'elle commande a 19 mètres de longueur totale en trois sections, et un diamètre variant de $0^m,56$ à $0^m,60$. Les tourillons de portée ont $0^m,75$ de longueur, sauf les deux extrêmes près des roues qui ont 1 mèt.

Le bâtis se compose, pour chaque machine, d'une table de fondation en fonte à nervure avec laquelle le condenseur a été coulé pour former une seule et unique pièce; elle a $9^m,240$ de long sur $2^m,74$ de large; soit $0^m,58$ en longueur, et $0^m,44$ en largeur de plus seulement que dans nos frégates de 450 chevaux, Uloa, Darien et autres.

Des plaques de fondation s'élèvent huit colonnes en fer forgé, hautes de 5 mètres sur $0^m,23$ de diamètre, que deux rangs de tiges transversales entretoisent et qui portent l'entablement supérieur de l'arbre porte-roue. Cet entablement, avec lequel les paliers font corps est fait à nervure et formé de deux pièces boulonnées. Quatre colonnes obliques appuyées d'en bas sur le condenseur, se joignent aux huit colonnes verticales qui précèdent pour former un bâtis également rigide et simple.

Les roues propulsives du navire ont 11 mètres de diamètre extrême; elles sont formées de trois rangs de 14 rayons chaque, en fer, de $0^m,14$ sur $0^m,03$, posés de champ et agrafés dans un triple tourteau de fonte. Des tringles méplates les entretoisent obliquement en tous sens. Chaque roue porte 28 pales en bois, épaisses de $0^m,085$, larges de $3^m,40$ sur $0^m,60$ de hauteur.

Les roues sont en porte-à-faux, les paliers extrêmes portant l'arbre sont appuyés sur la muraille du bâtiment par d'énormes consoles en tôle.

En charge moyenne, 12 pales trempent ensemble sur les deux roues; soit 24 mètres carrés pour surface totale agissante, ce qui équivaut à 0,38 de la section immergée du maître couple de la coque. La machine donnant 17 tours de roues par minute, si on suppose le centre d'action des pales à la moitié, le diamètre des roues est réduit à 10 mèt., ce qui donne $31^m,40$ pour circonférence. La vitesse v' des pales par seconde est donc

$$v' = \frac{31.40 \times 17}{60} = 8^m,88.$$

La vitesse v du navire a été trouvée égale à 13,71 nœuds de 1851^m, sous vapeur seule et sans l'aide des voiles. Soit $25^k,35$ à l'heure, et $7^m,05$ par seconde; d'où l'on déduit pour valeur accoutumée de $u = v' - v$, c'est-à-dire pour excès de vitesse des roues, entrant comme élément de leur travail moteur :

$$u = 8.88 - 7.05 = 1^m.83.$$

Comme dans les steamers Cunard et dans tous ceux qui, d'Amérique sont venus au Havre depuis vingt ans, les nouveaux transatlantiques ont des aubes fixes, et ce système paraît exclusivement adopté pour les bâtiments qui, allant vers le nord, peuvent rencontrer des glaces, tandis

que ceux qui vont vers les pays chauds, comme le Brésil et les Antilles, paraissent généralement recevoir les aubes articulées dites de Morgan en Angleterre, mais qui furent appliquées par M. Cavé, en 1824, à des remorqueurs du Havre.

Les chaudières, dont il nous reste à parler, forment à chaque bout de la machine un groupe de quatre corps distincts qui se regardent deux à deux, ayant l'allée de chauffe au milieu. Chaque groupe a sa soute à houille, son réservoir de vapeur et sa cheminée de 2 mètres de diamètre sur 20 mètres de hauteur dont 14 mètres dépassent le pont.

Les chaudières sont du système tubulaire en retour de flamme. Chaque corps pèse 61 tonnes, il possède 6 foyers de $0^m,95$ de large avec grille inclinée longue de $2^m,10$. A chaque foyer correspond une batterie de 80 tubes en laiton, ayant $2^m,35$ de long sur $0^m,09$ de diamètre extérieur; soit en tout 460 tubes par corps, et 1840 tubes pour la totalité des chaudières. On compte en tout 1395 mètrés carrés de surface de chauffe, soit $1^{mq},50$ métr. par cheval nominal, les 24 foyers brûlant; et 48 mètres quarrés de grille.

II

Dans les essais qui ont eu lieu sur le *Lafayette*, voici quelles furent les constatations officielles :

Tirant d'eau	5.74
Section immergée du mètre couple	63.8
Pression au manomètre des chaudières	120 cent. de mercure.
Indication du vide	65 d°
Introduction de vapeur aux cylindres de 0,55 à 0,75	de la course.
Nombre de tours de roues par minute	16'80
État de la mer	belle.
État du vent	petite brise n. o.
Voiles déployées	néant.
Vitesse du navire	$13^m,71$
Force motrice, en chevaux de 75^{km}, développée sur les 2 pistons *d'après l'indicateur*	3296
Consommation de combustible, par heure	4836 kil.
Soit par cheval nominal	5^k09
Soit par cheval effectif	1^k27

Qu'il nous soit permis de faire quelques observations sur ces résultats :

C'est une opinion trop généralement reçue en dehors de la marine, que la machine de navigation est moins favorisée par les progrès modernes

que les moteurs d'usines et de chemins de fer. Il ne sera pas sans intérêt de discuter ce préjugé.

Et d'abord, on va s'étonner : Bien que rien ne ressemble moins à une locomotive qu'une machine de bateau, ces machines ont cependant beaucoup de points communs dans leurs conditions d'existence, et c'est précisément cette communauté de principes d'installation qui conduit aux différences apparentes signalées entre les deux types, de telle sorte que si l'on était amené à faire des locomotives d'une puissance égale à celle des grandes machines marines, leurs dispositions fondamentales imiteraient probablement beaucoup celles qui existent dans les navires en ce moment.

En premier lieu, comme la locomotive, qui ne doit pas dépasser une charge donnée sur la voie par l'intermédiaire des roues, sous peine de détruire les rails, la machine marine doit s'étendre dans le fond du navire pour repartir le poids des organes sur une surface voulue, sinon la membrure s'écrase; et de même qu'une poutre chargée, en son milieu, par exemple, prend de l'arc et se relève des deux bouts, le navire librement posé sur l'eau se relève aux extrémités et prend de l'arc sous le poids d'une machine accumulée sur une trop réduite surface. Cette condition trop oubliée dans l'agencement de bien des systèmes proposés, a produit des erreurs, au premier rang desquelles se placent ces machines, pour ainsi dire condensées en une montagne de fer sur quelques mètres de surface. Oui, sans doute, l'espace est précieux dans un navire, mais les machines-marines auxquelles nous faisons allusion ne sont pas plus pratiques que ne le serait une énorme locomotive réduite en longueur de manière à porter sur quatre roues.

Et qu'on ne parle pas de résoudre le problème par des consolidations artificielles. On a bien pu prévenir la déformation des coques légères *par des* armatures analogues à celles des poutres dites armées, comme sur les bateaux des rivières américaines et sur le Rhône, où ces moyens de consolidation, très-simples, mériteraient d'être étudiés. Mais, outre que ces modes sont peu compatibles avec les formes obligées en mer, *on* ne peut pas plus éviter l'écrasement d'un couple ou d'une varangue de navire sous une surcharge, qu'on ne peut empêcher celui d'un rail *sous* une roue de locomotive qui le presse démesurément.

En second lieu, comme la locomotive, la machine-marine, mécanisme, chaudières, caisses de provision de route etc., doit former un tout indivisible et solidaire que ne troublent pas les oscillations et secousses inhérentes à la marche; les conditions d'équilibre, de stabilité, de répartition symétrique des poids, d'abaissement de centre de gravité dans les machines-marines, sont les mêmes que sur les chemins de fer, avec cette différence toutefois, que les perturbations de la locomotive sont peu de chose auprès de celles des navires, même dans les agitations usuelles de la mer.

Moins strictement limitée que la locomotive dans sa longueur et son profil, la machine-marine a cependant ses bornes étroites entre les murailles du navire et le pont de cale, au-dessous duquel elle doit se renfermer en divers cas.

Enfin la locomotive est proportionnée pour fournir un surcroît accidentel de travail, propre à regagner le temps perdu, et ses organes mécaniques sont calculés en prévision des chocs, avec tant de prudence que le calcul donne à peine 2 kilogr. d'effort normal à supporter par millimètre carré de la section des bielles, tiges de pistons, essieux, etc. Ces mêmes nécessités du service ont conduit à donner aux machines-marines les colossales dimensions qu'on connaît. Car les expériences ont accusé des efforts de 80,000 kilogr. et plus au mètre carré, exercés par certaines vagues furieuses, et peut-être ne sont-elles pas de celles qui ont renversé les jetées des ports de la Manche, il y a trois ans, dans le coup de vent resté célèbre, dit de la Toussaint.

Obligé de donner aux organes de la machine-marine un poids considérable, on a été conduit à réduire leurs vitesses relatives pour atténuer les mêmes actions perturbatrices qu'on redoute dans des locomotives en marche, et qui ont préoccupé si vivement M. Connor, ainsi que M. Neilson, le constructeur de Glascow, auteurs des locomotives à roues gigantesques, du railway calédonien. Celles-ci ne sont pas appelées, comme on l'a cru peut-être, à fournir plus que la vitesse usuelle. On a simplement voulu, pour une vitesse donnée, faire décrire à la roue un moindre nombre de tours, et ralentir par suite les organes qui l'actionnent, ou augmenter au moins leur amplitude. Les mêmes idées font donner aux organes d'une machine-marine l'amplitude et la lenteur; tandis qu'une roue de locomotive de deux mètres environ décrit de 170 à 200 tours par minute, et qu'un piston de 40 centimètres armé d'une tige de 7 centimètres a une vitesse relative de $3^m,60$ par seconde, la grande machine-marine avec ses roues de 10 à 12 mètres, ses pistons de $2^m,50$, armé de tiges de 30 centimètres, est encore assurément bien partagée avec une vitesse de piston qui va jusqu'à $1^m,80$ par seconde, correspondant à la moyenne de 20 tours par minute dans les propulseurs à roues, et 60 tours avec les hélices mues par machines directes à course de piston réduite.

La locomotive et la machine-marine ont donc des points communs, elles offrent des problèmes analogues, et ceux-ci ont été résolus dans le même ordre d'idées. Mais la machine-marine a ses conditions spéciales, qui ne permettent plus de lui assimiler les locomotives. Sa marche continue pendant des mois consécutifs, ne permet pas de régler son service comme celui de nos mécaniciens de chemins de fer. Sur ceux-ci nous avons à peu près le choix des eaux convenant le mieux aux chaudières tubulaires. Dans le navire on a l'eau saturée de sel de la mer, et ce n'est que dans des cas restreints, ainsi qu'au prix de grandes complications,

qu'on a pu faire usage de l'eau plus ou moins distillée. Enfin, il règne dans la chambre des machines de navigation une chaleur qui n'a pas été trouvée moindre de 65 degrés dans des navires pourvus de machines à haute pression, très-difficiles à revêtir d'enveloppes anti-conductrices du calorique. Ce sera là, peut-être encore longtemps, un des graves obstacles à l'emploi des machines à haute pression, appelées par tant de vœux. En effet, les mécaniciens et chauffeurs ne peuvent demeurer dans ces étuves; et ainsi ont été produits des accidents célèbres résultant de l'impossibilité où l'on était de donner aux appareils les soins incessants qu'ils réclament.

Ayant exposé les conditions respectives de la locomotive et de la machine-marine à laquelle si peu d'ingénieurs accordent encore leur intérêt, comparons les résultats des unes et des autres.

Ce parallèle exige d'abord deux observations :

On sait que la force effective des machines-marines, évaluée en chevaux de 75 kilogrammètres, est beaucoup supérieure à la force dite nominale. Il est difficile de l'estimer comparativement à celle d'une machine d'usine ou d'une locomotive. Dans celle-ci, un dynamomètre mis entre le tender et la première voiture du train remorqué donne la puissance motrice cherchée. Dans la machine d'usine un frein de Prony ou un dynamomètre Morin font de même connaître la force effective disponible sur l'arbre moteur, actionnant les engins de cette usine. Il ne serait peut-être pas impossible d'arriver à des évaluations analogues pour la machine de bateau. M. Colladon a entretenu la Société des ingénieurs civils de son dynamomètre à navires, et l'on connaît aussi celui de M. Taurines, qui a fonctionné longtemps, entre autres sur la corvette *Primauguet*. Mais ces installations ne se sont pas généralisées, et l'on continue à relever à l'indicateur de Watt les diagrammes de la course des pistons. D'où l'on déduit des forces effectives en chevaux de 75 kilogrammètres, parfois égales à six fois la force nominale, comme dans l'un des paquebots anglais de la ligne d'Holyhead.

Voulant comparer le travail industriel de la locomotive et du bateau, nous devons encore faire observer que le déployement de puissance sur les pistons relevé comme il vient d'être dit, ne représente pas le travail utile de progression du navire tel que celui qui est mesuré sur le premier wagon du train de chemin de fer. De la puissance accusée par l'indicateur sur les pistons du navire, il faut retrancher les résistances passives de la machine elle-même et la perte de travail absorbée dans le propulseur dont les pales relèvent l'eau en s'émergeant.

D'après divers expérimentateurs, il faut supposer des conditions mauvaises pour gaspiller dans les roues 26 p. 100 de la puissance motrice. Suivant MM. Séguin et Barlow, les roues à aubes pourraient utiliser jusqu'à 83 p. 100 du travail de la machine.

Quant aux frottements de la machine, ils ont été reconnus très-minimes lorsqu'il s'agit de dimensions aussi colossales que celles du *Lafayette*, surtout dans un appareil à balanciers latéraux où tout est si bien équilibré. Assurément c'est faire la part belle à toutes les pertes de puissance motrice que de les évaluer au quart de la puissance déterminée par l'*indicateur*[1]. Ce quart ne représente rien moins dans l'espèce que 824 chevaux de 75^{km}, et il resterait 2,472 chevaux pour travail utile à considérer, pour comparer une machine marine à celle des usines ou des chemins de fer.

Prenons pour cette comparaison une machine Engerth remorquant 650 tonnes, wagons et machine compris, à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure, en consommant 20 kilog. de houille par kilomètre, soit 500 kil. par heure. On ne saurait, ce me semble, mieux choisir, puisque la vitesse du *Lafayette* fournit cette même vitesse de 25 kil. à l'heure et même un peu plus.

Quant à la puissance motrice de la locomotive, il nous est facile de l'estimer approximativement, si on admet que l'effort de traction par tonne remorquée, soit d'environ 5 kilog.; estimation qui résulte également des expériences de MM. Morin, Sauvage et Poirée connues de la Société des ingénieurs, et des déterminations de la formule dite de Harding, avec lesquelles concordent les évaluations données par Gooch, Brunel, etc.; soit donc 3,000 kilog. l'effort de traction cherché, que nous supposons, en nombre rond, doublé par la gravité sur les rampes moyennes. Soit donc en tout : 6,000 kilog. pour l'effort de traction, qui, multipliant la vitesse par seconde $= 7^{m}.05$ donné pour travail effectif en chevaux de 75 kilogrammètres

$$T = \frac{6000 \times 7.05 - 42.300^{km}}{75^{km}} = 564 \text{ chevaux.}$$

Si ces hypothèses pèchent, c'est assurément par générosité envers la locomotive. Qu'il nous soit cependant permis de les admettre comme approximations suffisantes pour comparer l'*Engerth* et le *Lafayette*. Et alors nous composerons le tableau suivant :

1. Dans la discussion qui a suivi la présente communication (Voir séance du 18 novembre 1864); ces estimations ont été vivement critiquées par quelques membres. Moi-même, dans mon *Traité des machines à vapeur*, je n'avais pas osé les faire si larges. J'y ai été amené depuis, par la communication de nombreux documents qui ont dissipé mes doutes sur le grand rendement relatif des machines marines. Au surplus, soit dans la même séance, soit dans les suivantes, des membres de la Société, parmi les plus autorisés, ont déclaré que j'étais dans le vrai.

Tableau comparatif du travail et de la consommation d'une locomotive Engerth *et de la machine du steamer* le Lafayette.

	ENGERTH.	LAFAYETTE.
Puissance effective en chevaux de 75 kilogrammètres.	564 ch.	2472 ch.
Charge totale transportée, moteur compris.....	650 t.	4872 t.
Vitesse à l'heure.....	25 k.	25 k.
Tonnes-kilomètres transportées.....	16.250 tk.	121.800 tk.
Soit par force de cheval.....	30 tk.	50 tk.
Combustible brûlé par heure.....	500 k.	4836 k.
Soit par cheval effectif.....	0k.88	1k.91
Soit par tonne-kilomètre.....	0 .0307	0 ,0397

De ce tableau il résulte que si la locomotive dépense moins de combustible par cheval, si elle est peut-être de toutes les machines à vapeur celle qui consomme le moins, sauf certaines machines fixes d'épuisement, il naît au contraire une analogie singulière entre la locomotive et la machine marine de vitesse égale, lorsque l'on considère les tonnes-kilomètres bruts transportées.

Secondement si la machine marine, quoiqu'à condensation, dépense sensiblement plus de combustible par cheval, par des raisons locales qu'on expliquerait facilement, ce me semble, la même machine marine a au contraire le remarquable avantage de transporter 1 fois et demie le nombre de tonnes-kilomètres par cheval, que comporte la locomotive.

Ne cherchons pas à tirer des conclusions trop absolues de la comparaison précédente, qui n'a pu d'ailleurs reposer que sur des à-peu-près. Mais on en déduira que si la locomotive a atteint un haut degré de perfection parmi les machines à vapeur, la machine marine fonctionne dignement à côté d'elle, dans des conditions de service dont plusieurs ont une singulière analogie.

Suit le résumé des dimensions du *Lafayette* :

Longueur totale.	110m »
Longueur à la ligne d'eau.	105m62
Largeur hors membre à la ligne d'eau.	13m36
Largeur hors tambours.	22m »
Tirant d'eau en charge moyenne.	5m74
Déplacement audit tirant d'eau.	4872t
Déplacement du navire vide.	2500
Jaugeage commercial.	3400
Section du maître couple immergé.	65mq

Surface totale de voilure	885^{mq}
Creux moyen	9 80
Force nominale de la machine	950^{ch}
Force effective à l'indicateur	3296^{ch}
Timbre des chaudières	3^{atm},50
Introduction moyenne de la vapeur aux cylindres	0 ,75
Diamètre des pistons	2 ,40
Course	2 ,64
Nombre de tours de roues par minute	17'
Diamètre extrême des roues	11^{m}
Nombre d'aubes à chaque roue	28
Longueur des aubes	3^{m}40
Largeur id.	6^{m}60
Diamètre de pompe à air	1 44
Course id.	1 36
Pompe alimentaire et de cale, diamètre	0 26
— — course	1 36
Tige de piston, diamètre au corps	0 264
— — au cône	0 445
Bielles pendantes diamètre au ventre	0 26
— — longueur entre axes	4 87
Grande bielle, diamètre au ventre	0 34
— longueur entre axes	5 94
Té de la pompe à air, longueur	2 976
— — largeur au milieu	0 432
— — épaisseur	0 137
Grand Té, longueur totale	3 746
— largeur au milieu	0 76
— épaisseur	0 20
Arbre, diamètre au tourillon	0 68
— — au corps	0 56
— — au tourillon extérieur	0 58
— Longueur du tourillon extérieur	1 00
— — — du milieu	0 75
Excentrique de distribution, diamètre	1 27
— — épaisseur	0 20
Nombre des corps de chaudière	4
Nombre des foyers par corps	6
Longueur des grilles	2^{m}10
Largeur des grilles	0^{m}95
Surface totale des grilles	48^{mq}
Nombre de tubes d'un foyer	80
Longueur de tube	2 35
Diamètre extérieur	0 09

Surface de chauffe totale.	1395	
Volume d'eau.	800	lit.
Volume de vapeur.	6	
Hauteur de la cheminée	20	
Diamètre —	2	
Contenance des soutes à houille	1340	q[x]
Poids de machine seule.	750	
Poids des chaudières en marche.	300	

NOTE

SUR

L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL,

PAR A. C. BENOIT-DUPORTAIL.

C'est pour répondre à l'invitation que la Société a adressée à tous ses membres, de lui apporter leur concours dans l'étude de la question de l'enseignement professionnel, que je viens aujourd'hui exposer mes idées sur cet intéressant sujet.

Pour bien juger cette question, je crois qu'il faut tout d'abord se placer à un point de vue plus général, et par conséquent plus élevé.

Il y a, selon moi, quatre parties essentielles et distinctes dans l'éducation d'un homme :

La première partie comprend l'éducation morale, religieuse et philosophique; c'est l'éducation proprement dite :

La deuxième partie comprend l'éducation littéraire ou l'instruction;

La troisième comprend l'éducation scientifique et physique;

La quatrième et dernière comprend l'enseignement professionnel.

Chacune de ces branches de l'enseignement peut se subdiviser elle-même en plusieurs degrés, et être primaire, secondaire ou supérieure, suivant les capacités des individus et les moyens qui sont employés pour leur éducation.

Ceci posé, je vais examiner maintenant le but, le rôle et l'importance de chacune des branches de l'éducation en général.

On reconnaît *a priori* que les deux premières parties sont nécessaires, et pour ainsi dire indispensables, pour tous les hommes, à quelque classe de la société qu'ils appartiennent et dans quelque position qu'ils se trouvent; elles développent notre intelligence, et nous permettent de nous mieux rendre compte de nos devoirs.

On contestera peut-être que cela soit vrai, pour l'éducation littéraire; il suffira, je crois, de peu de mots pour le démontrer. Quand même, en effet, les études littéraires n'auraient pas pour résultat immédiat d'élever nos idées en les développant, les programmes que l'on suit aussi bien dans l'enseignement primaire que dans les enseignements su-

périeurs ne sont-ils pas par eux-mêmes de nature à élever notre âme, et à nous inspirer des sentiments de morale, de religion, de philosophie et de justice? Que fait-on, en effet, lire et apprendre aux petits enfants dans les écoles primaires? Des livres dans lesquels se trouvent des principes et des maximes de justice et de morale comme celles-ci : « Ne fais « pas à autrui ce que tu ne voudrais pas qu'on te fît », « Si l'homme ne « te voit pas, Dieu te voit. », et le récit des belles actions de ceux qui nous ont précédés.

Sur quoi roulent les devoirs des élèves des colléges? Quels sont les livres classiques désignés par l'Université? En latin, ce sont : l'*Epitome historiæ sacræ*, le *de Viris illustribus*, Virgile, César, Horace, Phèdre, Cicéron (*de Amicitia, de Senectute, de Officiis, in Catilinam, in Verrem*, etc.); en grec, Ésope, Lucien, Xénophon (*Cyropédie, la Vie de Socrate*, etc.), Plutarque, Homère. Est-ce que les vénérables professeurs sous lesquels nous avons passé notre jeunesse ne se sont pas appliqués à nous faire admirer non-seulement les beautés du style de ces ouvrages, mais aussi les belles actions et les beaux principes qui s'y trouvent exposés? Est-ce qu'il ne nous reste pas à chacun de ces souvenirs salutaires qui remplissent l'âme et l'esprit de satisfaction et de force? Est-ce que l'enseignement universitaire n'a pas constamment pour but, à toute heure, à tout instant, de développer nos idées philosophiques, morales et religieuses (au point de vue de la religion en général, et non pas au point de vue restreint de tel ou tel culte), en même temps que de développer notre intelligence?

Mais, dit-on, ce n'est que par exception que les élèves se trouvent sous des professeurs qui s'occupent de leur éducation en même temps que de leur instruction, en leur faisant sentir et admirer les beautés morales en même temps que les beautés littéraires.

Cela est fâcheux assurément; mais, nous devons le reconnaître, ce n'est pas à l'enseignement en lui-même qu'il faut s'en prendre : il faut s'en prendre à l'incurie ou à l'incapacité de ceux qui négligent cette partie de l'enseignement. Les professeurs sont comme tous les hommes en général et comme les employés en particulier; il se trouve parmi eux des gens de mérite; mais il se trouve aussi des médiocrités et même des nullités.

Mais, dit-on encore, la plupart de ces livres ne sont que le récit des batailles et des conquêtes des rois et des empereurs.

Cette objection paraît très-sérieuse au premier abord; mais elle ne soutient pas longtemps la discussion, et pour justifier la manière dont on écrit l'histoire, il suffit de se rappeler ce passage de l'introduction du *Siècle de Louis XIV et de Louis XV* par Voltaire : « Mille circonstances « intéressantes pour les contemporains se perdent aux yeux de la posté- « rité, et disparaissent pour ne laisser voir que les grands événements « qui ont fixé la destinée des empires. Tout ce qui se fait ne mérite pas « d'être écrit. On ne s'attachera dans cette histoire qu'à ce qui mérite

« l'attention de tous les temps, à tout ce qui peut peindre le génie et les « mœurs des hommes, à ce qui peut servir d'instruction et conseiller « l'amour de la vertu, des arts et de la patrie. »

N'est-ce pas ainsi que l'on doit concevoir l'histoire? et n'est-ce pas en effet ainsi qu'on l'écrit? Tous les historiens n'ont pas le talent de Voltaire, mais tous suivent la même règle et la même marche. Tous les précis que l'on a mis entre nos mains ne contiennent-ils pas des chapitres spéciaux sur les arts, les lettres et les sciences des différents peuples et des différentes époques? Il est vrai que, dans le cours ordinaire des études, l'on s'arrête peu sur ces chapitres; mais c'est encore là la faute des hommes et non pas des choses : c'est la faute des élèves et des professeurs et non pas du programme universitaire et des livres qui servent à l'enseignement : et il en sera toujours de même, quel que soit le programme que l'on rédigera, lorsque les hommes chargés de le mettre à exécution seront négligents ou peu consciencieux, ou qu'ils auront des vues étroites et qu'ils suivront maladroitement la route qu'on leur a tracée.

Mais, dit-on, cet enseignement oppose aux jeunes gens un obstacle insurmontable pour le choix d'une profession par l'ignorance scientifique, et les jeunes gens qui sortent du lycée se trouvent à vingt ans sans position et sans avenir. Il ne faut pas l'oublier, l'enseignement universitaire est un enseignement éminemment aristocratique : il est fait pour ceux qui appartiennent à des classes aisées ou pour ceux qui, se distinguant par leurs capacités supérieures, méritent que le gouvernement s'intéresse spécialement à eux parce qu'ils pourront devenir un jour des hommes éminents et utiles dans la société. L'enseignement universitaire n'est donc que le commencement de l'enseignement, et il a besoin d'être complété par des études spéciales et professionnelles que l'on doit faire ultérieurement.

L'enseignement universitaire est la catégorie supérieure de l'enseignement moral, philosophique, religieux et littéraire, comme l'École centrale et l'École polytechnique sont les écoles supérieures pour l'enseignement scientifique.

J'ose espérer que nous serons tous d'accord sur ces points, lorsque j'aurai comblé une lacune que j'ai laissée à dessein dans le cadre de l'enseignement universitaire et qui concerne précisément l'enseignement professionnel.

A côté du point de vue intellectuel, il y a dans la vie un autre point de vue tout aussi important, quoique moins élevé, c'est le point de vue pratique, c'est le point de vue matériel; et, comme dans la vie réelle on ne peut pas se passer des choses matérielles, il faut rendre les jeunes gens capables de se les procurer. Comme, d'autre part, les connaissances qui sont nécessaires dans la vie matérielle exigent de longues études et qu'on ne peut pas s'en servir utilement sans un long exercice, il était du devoir

de l'Université d'adjoindre l'étude des sciences physiques à l'étude des sciences intellectuelles.

La seule difficulté que puisse présenter la question, c'est de savoir quelle part l'enseignement primaire et l'enseignement supérieur doivent faire aux études scientifiques. Cette difficulté est très-grande : car, il ne faut pas se le dissimuler, bien que les programmes soient invariablement arrêtés et fixés par l'Université pour les établissements de divers degrés, ces programmes ne sont point suivis de la même manière par tous les élèves (je ne dis pas par les professeurs, je dis par les élèves) : les uns quittent les classes à douze ou treize ans, d'autres à quatorze, quinze ou seize, et quelques-uns seulement à dix-huit ou vingt, après avoir fini toutes leurs études. Il devient dès lors impossible d'introduire dans l'enseignement classique des études scientifiques qui répondent d'une manière complétement satisfaisante aux besoins de tous les élèves, à quelque profession qu'ils se destinent et quel que soit l'âge auquel ils quittent les bancs du lycée, de la pension ou de l'école.

Il a donc fallu admettre une base qui répondît aux besoins les plus généraux, et alors le programme de l'enseignement scientifique dans les colléges est devenu très-facile à rédiger, comme nous allons le voir.

Les jeunes gens qui font des études à peu près complètes embrassent deux genres de carrières bien distincts : *les uns* se destinent au barreau, à la littérature, à la diplomatie ou aux beaux-arts ; *les autres* se destinent à ce qu'on est convenu d'appeler les *Écoles spéciales* (qui ne sont pas plus spéciales que l'École normale, l'École de droit, l'École des beaux-arts, l'École des chartes, etc.).

Ceux qui se destinent aux *arts libéraux*, comme on dit même aujourd'hui dans un style encore empreint des préjúgés du paganisme, ceux, dis-je, qui se destinent aux carrières libérales, n'ont que peu besoin des connaissances scientifiques et les dédaignent la plupart du temps, parce qu'ils ne sentent pas tout ce qu'il y a de poétique et de sublime dans la nature et dans les sciences naturelles ; par conséquent, il n'y a pas lieu de leur donner un enseignement dont ils ne sauraient ni ne voudraient profiter : ce serait peine perdue.

Il n'y a lieu de s'occuper de l'enseignement scientifique que pour ceux auxquels il peut être utile, pour ceux qui se destinent aux écoles spéciales, c'est-à-dire à l'École navale, à l'École polytechnique, à l'École de Saint-Cyr, aux Écoles d'Arts et Métiers, à l'École Centrale, à l'École de Commerce, etc.

Eh bien, il faut le reconnaître de suite, c'est en vue de ces carrières que l'enseignement scientifique est organisé dans les lycées : on enseigne dans les classes inférieures l'arithmétique et la géométrie qui sont la base de tout enseignement scientifique et dont les éléments sont difficiles à apprendre pour la plupart des élèves : les professeurs intelligents familiarisent de bonne heure les élèves avec l'emploi des lettres pour repré-

senter des quantités numériques, ce qui est la seule idée difficile en algèbre. Toutes les autres sciences ne sont pour ainsi dire que des applications de l'arithmétique, de la géométrie et de l'algèbre, et quand on sait ces trois sciences, on apprend facilement toutes les autres.

Doit-on donner un grand développement à ces études élémentaires? Ou bien doit-on au contraire les restreindre comme on le fait aujourd'hui? Doit-on, ou ne doit-on pas donner de bonne heure aux jeunes gens des leçons de physique, de chimie, d'histoire naturelle, de minéralogie? A mon avis, on ferait bien de leur donner de bonne heure des leçons d'histoire naturelle ; on ferait même bien de répandre cet enseignement dans les écoles primaires, parce que l'organisation du corps humain est une de ces notions qu'il n'est pour ainsi dire pas permis à un homme d'ignorer, qui font partie de l'enseignement général, et que chacun a besoin de connaître, comme on a besoin de connaître la langue de son pays. On peut d'ailleurs l'étudier sans aucune étude préliminaire.

Mais il n'en est pas de même des autres sciences : vous ne pouvez pas apprendre la physique sans avoir des connaissances d'une certaine étendue sur l'arithmétique et la géométrie; vous ne pouvez pas étudier utilement la chimie sans connaître la physique; vous ne pouvez pas non plus faire de la minéralogie sans avoir certaines connaissances en chimie et en géométrie : tout cela se tient, tout cela s'enchaîne, et nous devons forcément suivre l'enchaînement que la nature elle-même a tracé. Eh bien, il faut reconnaître que le programme universitaire est conforme à ces nécessités, à ces exigences de la nature des choses qui déterminent l'ordre et la division des diverses parties de l'enseignement.

Il ne faut pas oublier en outre que les mathématiques et les sciences physiques en général ne peuvent pas s'apprendre facilement dans l'enfance, puisqu'il faut d'abord que l'esprit ait acquis une certaine rectitude de raisonnement, une certaine précision, afin de ne pas se former sur ces objets des idées fausses qui seraient plus fâcheuses que l'absence complète de notions, en sorte qu'on ne peut pas commencer cet enseignement avant treize ou quatorze ans, pour la plupart des élèves.

Outre l'histoire naturelle, il y a une chose que je regrette de ne pas voir introduire beaucoup plus sérieusement dans les études classiques, et ici, je le déclare, mes regrets sont très-vifs, c'est le DESSIN : car le dessin est aussi indispensable dans tous les arts industriels que l'arithmétique et la géométrie; c'est, comme l'a dit un ingénieur éminent[1], la langue des ingénieurs, et d'ailleurs il n'est pas nécessaire de savoir la géométrie ni même l'arithmétique pour apprendre à dessiner. A ce point de vue, l'enseignement universitaire dans les lycées laisse beaucoup à désirer et ne répond pas aux besoins de l'époque. L'enseignement primaire est beaucoup plus avancé : il y a dans les écoles gratuites de des-

1. M. Olivier.

sin des jeunes gens qui dessinent très-bien, qui font des constructions linéaires très-difficiles à l'aide de procédés graphiques qui s'apprennent facilement sans le secours de la théorie.

A part ces modifications, qui présentent d'ailleurs un intérêt réel, je ne vois pas ce qu'on pourrait réclamer à l'Université.

L'élève qui quitte les bancs du lycée à douze ou quatorze ans a déjà des notions élémentaires d'arithmétique et de géométrie qui peuvent lui rendre de très-grands services, quelle que soit la carrière qu'il embrasse; mais, lorsqu'il est obligé de tronquer ses études littéraires, il ne peut pas réclamer à l'Université une instruction scientifique complète!

Je n'ai presque pas parlé jusqu'ici de l'enseignement primaire au point de vue des études scientifiques; mais je n'ai qu'un mot à dire pour résoudre la question ; ce qui est vrai pour l'étude des lycées l'est également pour les élèves des établissements primaires et secondaires; c'est en vain qu'on voudrait remplacer les études littéraires par les études scientifiques, car on ne peut pas espérer que l'on fera mieux comprendre les mathématiques à dix ou douze ans aux enfants des ouvriers qu'aux enfants de la bourgeoisie et de l'aristocratie.

Il est certain, d'ailleurs, que si l'un des deux enseignements présente un avantage sur l'autre, c'est l'enseignement primaire et secondaire, dont l'étude si précieuse du dessin fait partie intégrante et directe, tandis qu'elle n'est qu'un accessoire fort négligé dans les lycées.

Si je me suis étendu un peu longuement sur ces dernières considérations, c'est qu'elles sont en quelque sorte le nœud de la question qui nous occupe, et, en traitant cette partie de l'enseignement général, j'ai pour ainsi dire traité en même temps une partie de l'enseignement scientifique et de l'enseignement professionnel.

Puisque le programme universitaire contient les éléments de l'enseignement scientifique, il suffit, pour que cet enseignement soit complet, qu'il existe pour chaque spécialité des écoles spéciales où chacun puisse étudier les sciences qui lui sont nécessaires pour l'exercice de la profession à laquelle il se destine.

Or, nous devons le reconnaître, ces écoles ne font pas défaut : tous les membres de cette société sont sortis des écoles spéciales; et les Écoles d'arts et métiers, l'École Polytechnique, l'École des mines de Saint-Étienne, l'École Centrale, etc., sont certainement des écoles professionnelles supérieures. Il en existe en outre dans les départements qui rendent d'éminents services tant à l'industrie en général qu'aux élèves auxquels elles créent une position utile et lucrative. Il est certain cependant qu'il reste encore des lacunes qu'il importe de combler le plus tôt possible, mais ce ne sont que des lacunes dans un enseignement qui répond d'une manière générale à la plupart des besoins de notre époque. Ces lacunes, il est facile de les énumérer, et je suis convaincu qu'il suffira de les indiquer à l'attention du public et du gouvernement pour qu'elles

soient promptement comblées : les écoles professionnelles que je regrette de ne pas voir sont des écoles pour la filature, le tissage, la teinture et les professions qui s'y rattachent, des écoles pour la poterie, la verrerie, la briqueterie, et les arts plastiques industriels en général ; il serait à désirer que les fermes modèles et les écoles d'agriculture se multipliassent ; mais, sur ce point, il n'y a qu'un peu de patience à avoir, car le gouvernement et les particuliers s'en occupent depuis longtemps, et la question a fait des progrès immenses depuis quelques années.

Il importe de remarquer que les éléments des connaissances physiques, mathématiques et graphiques nécessaires pour ces spécialités sont les mêmes qu'exigent les autres spécialités, qu'ils rentrent ainsi dans le domaine de l'Université, et que leur étude n'entraînerait aucune modification au programme ; ainsi la question est épuisée sur ce sujet.

Si j'ai commencé par parler de l'enseignement scientifique supérieur, ce n'est pas que j'aie oublié l'enseignement scientifique primaire. Eh bien, il est encore certain que si le développement de cet enseignement ne répond pas entièrement aux besoins de l'époque, il rend des services très-importants. Ne connaissons-nous pas tous, messieurs, ces cours élémentaires qui sont répandus dans les grands centres de population, et où l'on professe la physique, la chimie, le dessin, l'algèbre même et la mécanique, et qui se multiplient de plus en plus, grâce à l'initiative pleine de dévouement de l'Association polytechnique et en particulier de son vénérable et bien-aimé président, M. Perdonnet? Ce qu'il faut, c'est concourir activement au développement de ces utiles institutions dans les centres de population assez importants pour qu'elles y soient utiles et pour qu'on y trouve les ressources nécessaires pour subvenir aux dépenses d'installation et d'entretien du local, du mobilier et des appareils.

Jusqu'ici, l'état actuel des choses m'a paru à peu près satisfaisant ; mais il n'en est pas de même du quatrième point, qui concerne l'enseignement professionnel proprement dit.

Il est certain que l'industrie souffre en ce moment, qu'elle souffre beaucoup d'un mal qui exige un prompt remède ; mais la question est de savoir quel doit être ce remède et comment on doit l'appliquer.

On a pensé qu'il conviendrait de créer un nombre considérable d'écoles professionnelles spéciales où les ouvriers des divers corps d'état acquerraient la pratique de leur profession, de leur métier.

Je crois, pour ma part, que cette voie est mauvaise, qu'elle est fausse et qu'elle ne conduirait qu'à des dépenses inutiles et à des complications sans résultat.

Je crois, en effet, que ce qu'on est convenu d'appeler l'enseignement professionnel sort du domaine de l'enseignement : c'est le mot qui nous a trompés. Ce qu'on appelle l'enseignement professionnel n'est point un enseignement ; c'est tout simplement un apprentissage, c'est le commencement de la profession, du métier, c'est une affaire d'atelier et non pas

une question universitaire ; c'est le passage de l'enfance à la virilité, c'est le passage de l'étude à la pratique, c'est l'entrée de la carrière, c'est l'époque solennelle à laquelle se décide l'avenir de chacun, c'est, permettez-moi, messieurs, cette comparaison, c'est le pasage du Rubicon : « *Jacta est alea*, — le sort en est jeté. »

L'apprentissage n'est pas spécial aux professions manuelles : il est commun à toutes les professions sans exception ; le jeune peintre ou le jeune sculpteur, qui passent plusieurs années dans l'atelier d'un artiste en renom, font leur apprentissage ; il en est de même du jeune architecte ou du jeune ingénieur qui entre chez un autre architecte ou chez un autre ingénieur pour faire des dessins et des devis ; il en est de même du jeune notaire qui entre comme septième ou huitième clerc dans une étude pour apprendre à faire des contrats de mariage, des actes de vente et des inventaires après décès ; il en est de même de la plupart des commerçants qui font leur apprentissage, sous le nom de commis, dans un magasin quelconque ; il en est de même pour tous les états, pour tous les arts, pour tous les métiers, pour toutes les professions en général ; il n'y a de différence que dans la nature des travaux que l'on apprend à faire ; mais la marche générale est partout la même : les jeunes gens qui suivent la carrière diplomatique sont eux-mêmes forcés d'entrer dans un ministère, dans une préfecture ou dans les bureaux d'un ambassadeur pour faire leur apprentissage.

Il faut entrer dans une étude, dans un atelier, dans un magasin, dans un bureau pour faire son apprentissage dans la carrière que l'on embrasse, pour apprendre ces mille détails, ces mille secrets, ces mille rouages qui caractérisent chaque spécialité.

Je viens d'indiquer, sans m'apercevoir, la solution de la question ; c'est dans les établissements où s'exerce, où se pratique la profession que l'on veut embrasser, et *là seulement*, qu'il faut demander l'enseignement professionnel, qu'il faut faire son apprentissage. Aucune école ne peut remplacer l'atelier, le magasin, le bureau. Ne cherchons donc pas à créer avec beaucoup de peine des écoles qui coûteraient fort cher et qui ne rendraient aucun service. Développons l'apprentissage que l'on a trop négligé depuis vingt ans : qu'il soit encouragé, qu'il soit recommandé, qu'il soit répandu par les hommes qui ont de l'influence dans l'industrie, et nous serons sûrs d'avoir des ouvriers habiles et intelligents, et de faire de bons et beaux produits qui lutteront avec avantage contre les produits étrangers.

Ce qui manque en effet, ce n'est pas un nombre d'ouvriers suffisant pour les besoins de l'industrie, mais bien des ouvriers habiles ; on ne s'est pas occupé d'en former ; on s'est borné à montrer rapidement aux apprentis à faire des travaux grossiers, au lieu de leur apprendre successivement tous les détails, toutes les perfections de leur métier, et, au bout de six ou huit mois, les parents, qui sont souvent pressés par la néces-

sité, les changent d'atelier, si les patrons d'apprentissage ne leur donnent pas une journée de 2 fr. 25 ou 2 fr. 50 c.

Il faudrait, dans l'intérêt de l'industrie et pour le bien des apprentis eux-mêmes, dans l'intérêt de leur avenir, que les patrons n'admissent d'apprentis que sous la garantie d'un contrat d'apprentissage détaillé et stipulant bien les obligations et les engagements réciproques des deux parties.

Dans de telles conditions, tous les ateliers deviendraient eux-mêmes, comme ils doivent l'être, de véritables écoles où les apprentis recevraient l'enseignement professionnel qui leur est nécessaire.

Cela posé, je crois qu'il ne sera pas inutile d'indiquer ici d'une manière générale la proportion moyenne d'apprentis qui doit exister dans les ateliers pour un nombre donné d'ouvriers.

On peut admettre approximativement les données suivantes :

La durée moyenne de l'apprentissage dans des conditions sérieuses est de trois à quatre années.

La durée moyenne pendant laquelle les ouvriers exercent leur profession est de trente à trente-cinq ans.

Par conséquent, le rapport entre le nombre des apprentis et celui des ouvriers serait d'un à dix, ou de 10 pour 100, s'il n'y avait pas de causes qui vinssent le modifier.

Mais, d'autre part, il se trouve dans les ateliers un assez grand nombre d'hommes de peine, et il y a des professions, telles que celles de terrassiers, de frappeurs, pour lesquelles il n'est pas nécessaire de faire un apprentissage; on peut admettre que ces professions représentent à peu près la moitié de l'ensemble du personnel des ateliers.

En conséquence, la proportion entre le nombre des apprentis et l'ensemble du personnel se trouve réduite à 5 ou 6 pour 100.

Je crois que c'est là une bonne proportion pour la plupart des ateliers; mais il serait à désirer que la proportion fût plus forte pour les grands ateliers, qui présentent de plus grandes ressources, qui jouissent de moyens d'action et d'instruction très-puissants, et où l'intelligence des jeunes gens peut se développer plus facilement.

Des hommes éminents ont pensé qu'il serait nécessaire de donner aux ouvriers des connaissances pratiques générales dans plusieurs professions, pour leur permettre de quitter celle qu'ils exercent ordinairement dans les moments de chômage, afin d'en embrasser une autre à laquelle ils ne soient pas complétement étrangers.

A cela je répondrai d'abord que lorsque des ouvriers n'exercent pas leur profession d'une manière continue, qu'ils la quittent pendant un laps de temps un peu considérable, ils perdent leur habileté, ils deviennent maladroits et il leur faut pour ainsi dire recommencer leur apprentissage lorsqu'ils veulent l'exercer de nouveau. A ce point de vue la multiplicité des connaissances n'est donc pas bonne pour ceux qui veu-

lent travailler sérieusement : il n'y a que la spécialisation qui fasse de bons ouvriers.

En outre, pour qu'un tel ordre de choses puisse produire quelques résultats, il ne suffit pas que les ouvriers soient disposés à changer de métier, il faut que les circonstances dans lesquelles ils se trouvent le permettent; il faut qu'il existe autour d'eux des établissements qui puissent les utiliser et c'est là la grande difficulté : cette mutation, ce revirement se font naturellement lorsque les localités où les chômages se produisent présentent des ressources, c'est ce qui a lieu notamment à Paris où l'on voit constamment les peintres quitter en été les ateliers de carrosserie pour travailler dans les bâtiments afin de gagner une journée un peu plus forte; l'on voit des horlogers, des ciseleurs se mettre serruriers quand leur profession ne va pas; les hommes de toutes les professions ne se mettent-ils pas terrassiers ou ne servent-ils pas les maçons lorsqu'ils se trouvent sans ressources ? Le même déplacement a lieu dans quelques grands centres de population qui jouissent par leur importance même d'une situation exceptionnelle à cet égard. Mais il ne peut pas en être de même dans les petites localités ou dans les localités qui ne doivent toute leur prospérité qu'à un seul genre d'industrie : lorsque cette industrie éprouve une crise, la prospérité de toute la localité est atteinte et pour sortir delà, il faudrait d'abord créer de nouveaux établissements avant que les ouvriers pussent songer à changer de profession. — Mais, répondra-t-on, les ouvriers sans travail ne peuvent-ils pas quitter leur pays pour aller chercher du travail ailleurs ? — A mon avis, plusieurs causes s'y opposent : d'abord la plupart ont des liens d'intérêt, d'amitié ou de famille qui les retiennent dans le lieu où ils habitent; ils y trouvent des ressources et des secours qu'ils ne trouveraient pas dans les localités où ils sont complétement étrangers : en supposant même qu'ils trouvassent immédiatement de l'ouvrage dans le lieu où ils émigreraient, les frais et les pertes de toute nature que leur causerait leur déplacement ne dépasseraient-ils pas souvent le salaire qu'ils trouveraient à gagner? D'ailleurs, ils n'ont pas la certitude de trouver facilement du travail dans les localités où ils se présenteront et il est souvent prudent de leur part de ne pas émigrer tant qu'ils n'ont pas une place assurée quelque part. Ajoutez à cela que si de semblables émigrations prenaient une certaine importance, elles pourraient devenir la ruine non-seulement des établissements, mais même des localités où elles s'opéreraient, et vous reconnaîtrez, messieurs, que s'il existe des cas où il serait utile aux ouvriers de posséder des connaissances pratiques générales, ce n'est là qu'une rare exception.

Puisque je ne crois pas qu'il soit utile de créer des écoles professionnelles, je n'ai pas à entrer dans les détails concernant leur organisation : je ferai seulement remarquer en passant qu'une pareille institution conduirait inévitablement à une complication infinie, qu'il faudrait un

nombre immense d'écoles de toute espèce si l'on voulait qu'elles pussent fournir des ouvriers à tous nos ateliers. En admettant la proportion de 5 p. 100 que nous avons trouvée plus haut entre le nombre des apprentis et celui des ouvriers, en supposant qu'il y ait seulement en France un million d'ouvriers, ce qui est certainement de beaucoup au-dessous de la vérité, il faudrait former constamment cinquante mille apprentis, il faudrait créer deux ou trois cents écoles différant presque toutes les unes des autres !

Je n'insisterai pas sur ces chiffres : je crois qu'il suffit d'énoncer un pareil résultat pour faire comprendre toutes les difficultés que présenterait l'organisation des écoles professionnelles.

J'ai dit que l'on a trop négligé l'apprentissage depuis vingt ans, en voici la preuve et la raison : que ceux qui sont, comme moi, depuis ce temps dans l'industrie rappellent leurs souvenirs et je suis sûr qu'ils seront de mon avis, car je me souviens d'une époque où un grand nombre d'hommes pratiques, éblouis par les progrès de la construction des machines-outils, disaient avec conviction qu'au bout de dix ans on n'aurait plus besoin de bons ouvriers, et que l'on n'emploierait plus que des hommes de peine pour conduire les machines pour toutes sortes de travaux mécaniques. Beaucoup de personnes ont cru qu'on pouvait se passer de faire des apprentis, c'est-à-dire de former des ouvriers capables de travailler avec perfection et une partie de nos établissements s'en sont effectivement dispensés.

Voilà la véritable cause du mal, c'est-à-dire de l'abaissement de nos ouvriers depuis quelques années et c'est là qu'il faut porter le remède reconnaissons cette faute du passé, proclamons bien haut qu'il est nécessaire que nous apportions tous des soins particuliers à la formation des apprentis, comme le font certains établissements tels que le Creuzot, Graffenstaden, le chemin de fer du Nord; appelons la sollicitude du gouvernement sur cette question, réclamons des encouragements pour les établissements où l'apprentissage sera le plus développé et le mieux organisé, et d'ici à peu d'années la capacité des ouvriers français, leur mérite et leur habileté se seront promptement relevés.

Il importe d'ailleurs que les chefs d'établissements veillent à ce que leurs apprentis et leurs jeunes ouvriers suivent des cours destinés à leur donner l'instruction littéraire et l'instruction scientifique nécessaires à tous ceux qui veulent devenir habiles dans toutes les professions, comme le font ceux que j'ai cités, et soyez sûrs, je le répète, que par de tels moyens l'industrie française atteindra bientôt un degré de perfection auquel elle n'était pas encore arrivée jusqu'à ce jour.

CONCLUSIONS.

En résumé, je crois que pour que la situation soit bonne, soit excellente, il suffit d'adopter quelques mesures que j'ai indiquées successivement dans le cours de ce mémoire et que je vais rappeler ici brièvement, savoir :

1° Introduire dans l'enseignement scolaire l'étude de l'histoire naturelle et surtout celle du dessin ;

2° Créer des écoles spéciales pour la filature et le tissage d'une part et pour la poterie et les arts céramiques d'autre part ;

3° Développer l'apprentissage dans des conditions favorables, non-seulement au développement de l'habileté matérielle et pour ainsi dire *machinale*, mais aussi au développement des capacités intellectuelles des ouvriers.

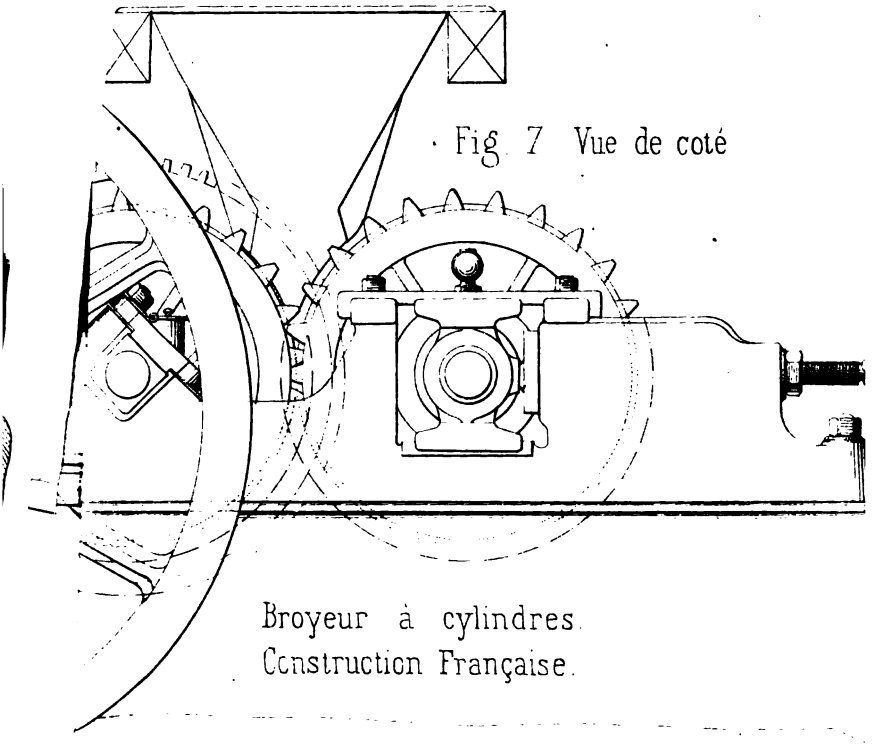


Fig. 7 Vue de coté

Broyeur à cylindres.
Construction Française.

Fig. 8 Vue en plan.

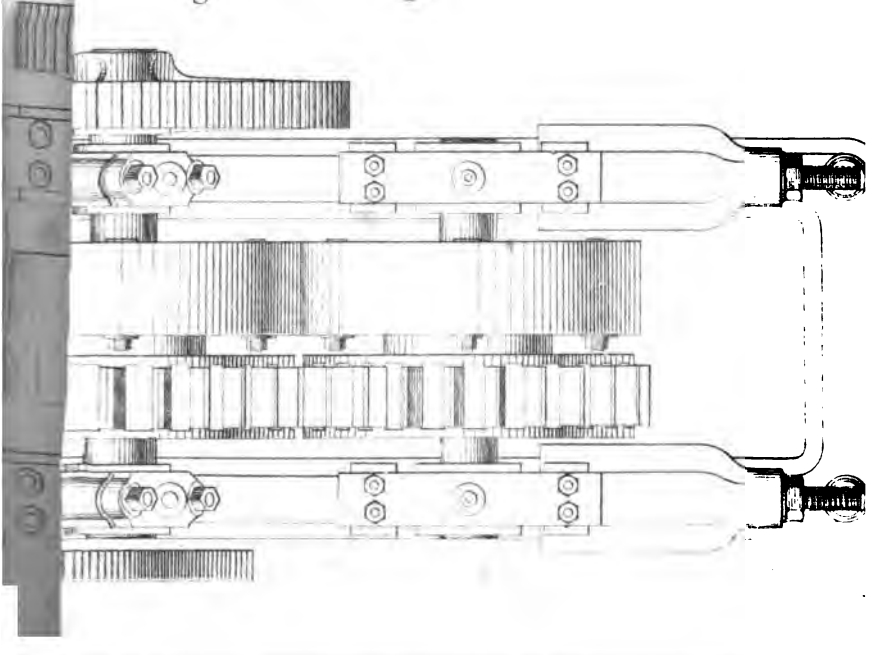


Fig. 17.

Crible finisseur pour fins

Coupe en travers.

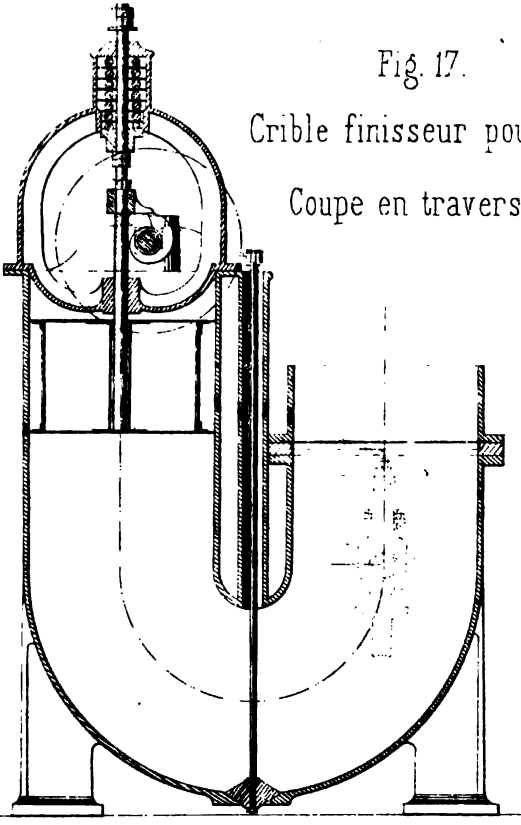
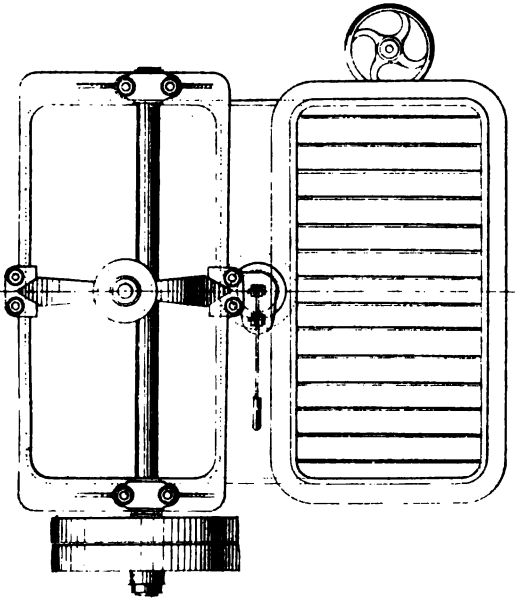


Fig. 18. Vue en plan.



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(AVRIL, MAI, JUIN 1865)

N° 80

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Charpente suspendue*, système de MM. Lehaître et de Mondésir. (Voir les résumés des séances des 7 avril, 5 et 19 mai, pages 144-165 et 173.)

2° *Constitution des fontes, fers et aciers*, par M. Jullien. (Voir les résumés des séances des 7 avril et 19 mai, pages 148 et 182.)

3° *Enseignement professionnel*, par M. Dubied. (Voir le résumé de la séance du 7 avril, page 151.)

4° *Percement du mont Cenis*. (Voir le résumé de la séance du 21 avril, page 153.)

5° *Traction du chemin de fer du Sud de l'Autriche, Exploitation du Semmering en* 1864. (Voir le résumé de la séance du 21 avril, page 154.)

6° *Entretien et exploitation des chemins de fer* (analyse de l'ouvrage de M. Goschler sur l'), par M. Love. (Voir le résumé de la séance du 21 avril, page 155.)

7° *Recherches sur la géographie des anciens peuples, comparée à la forme actuelle des bassins modernes pour servir à l'étude des cours*

d'eau souterrains, par M. Ch. Laurent. (Voir le résumé de la séance du 21 avril, page 161.)

8° *Conservation des grains*, par M. Delonchant. (Voir le résumé de la séance du 21 avril, page 162.)

9° *Canal maritime de Suez, Questions posées par les délégués du commerce.* (Voir le résumé de la séance du 19 mai, page 173.)

10° *Appareil fumivore, système Palazot*, par M. Malo. (Voir les résumés des séances des 19 mai, 2 et 16 juin, pages 177, 186 et 201.)

11° *Terrains mouvants,* par M. l'abbé Paramelle. (Voir le résumé de la séance du 2 juin, page 188.)

12° *Locomotive électro-magnétique*, par M. de Bruignac. (Voir le résumé de la séance du 2 juin, page 188.)

13° *École centrale d'architecture.* (Voir le résumé de la séance du 16 juin, page 202.)

14° *Situation financière de la Société.* (Voir le résumé de la séance du 16 juin, page 203.)

15° *Établissement des bains et lavoirs publics,* par M. E. Muller. (Voir le résumé de la séance du 16 juin, page 204.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Ganneron, membre de la Société, un exemplaire de son *Carnet à l'usage des agriculteurs.*

2° De M. Piquet, membre de la Société, une note *sur l'emploi du Goniomètre de M. Babinet pour la mesure des indices de réfraction, et la mesure des angles des cristaux.*

3° De M. Songaylo, membre de la Société, une note *sur la révivification de vieilles graisses de wagons.*

4° De M. Blavier, inspecteur des lignes télégraphiques, un exemplaire d'une note *sur la propagation de l'électricité.*

5° De M. Capuccio, membre de la Société, un exemplaire d'un projet intitulé : *Turin port de mer.*

6° De M. Deroide, membre de la Société, une épreuve photographique représentant l'*extracteur à gaz à trois cylindres de M. Arson.*

7° De M. Dubied, membre de la Société, une note sur une *Méthode d'enseignement professionnel de la mécanique industrielle au moyen de machines fonctionnant devant les élèves.*

8° De M. Vidal, membre de la Société, un exemplaire de sa brochure sur la *Législation des machines à vapeur*, et un exemplaire de sa note sur la *Flexion des prismes.*

9° De M. Nordling, membre de la Société, un exemplaire de sa note sur l'*Écartement des alimentations sur les chemins de fer*, un exemplaire de son mémoire sur les *Piles en charpente métallique des grands viaducs*, et trois photographies du *Viaduc de Busseau-d'Ahun.*

10° De MM. Petitgand et Ronna, un exemplaire de leur traduction du tome deuxième du *Traité de métallurgie du docteur Percy.*

11° De MM. Lechatelier, E. Flachat et J. Petiet, un exemplaire du *Guide du mécanicien et du conducteur de machines locomotives.*

12° De M. Ch. Laurent, membre de la Société, un exemplaire du *Tableau physique du Sahara oriental de la province de Constantine*, par M. Ch. Martins.

13° De M. Sommeiller une note sur l'*Avancement des travaux du percement du Mont Cenis.*

14° De M. Desgrange, membre de la Société, une note sur l'*Exploitation du Semmering pendant l'année* 1864.

15° De M. de Mazade, membre de la Société, une note sur *l'Espagne industrielle.*

16° De M. Love, membre de la Société, une analyse du *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*, par M. Goschler.

17° De M. Ch. Laurent, membre de la Société, une note sur la *Géographie des anciens peuples comparée à la forme actuelle des bassins modernes, pour servir à l'étude des cours d'eaux souterrains.*

18° De M. Ch. Thirion, membre de la Société, les nos 1 et 2 de sa publication intitulée : *la Propagation industrielle.*

19° De M. Lehaître, membre de la Société, un exemplaire de ses *Études sur les chemins de fer du haut Jura.*

20° De M. J. Gaudry, membre de la Société, les calques de la coupole suspendue de l'ancien panorama des Champs-Élysées construit par M. Hittorff.

21° De M. Frédéric-Arthur Paget, un exemplaire de sa brochure : *On the Wear and tear of Steam Boilers.*

22° De M. Grateau, ingénieur, un exemplaire de sa brochure intitulée : *l'École des mines de Paris, histoire, organisation, enseignement, élèves-ingénieurs et élèves externes.*

23° De M. Ferdinand de Lesseps, un exemplaire des *Réponses aux questions posées par MM. les délégués.*

24° De M. E. Lacroix, éditeur, un exemplaire du nouveau *Traité de Télégraphie électrique.*

25° De M. E. Flachat, l'*Atlas du projet des Halles centrales.*

26° De M. l'abbé Paramelle, une note sur les *Terrains mouvants.*

27° De M. Simonin, membre de la Société, un exemplaire de son mémoire sur la *Richesse minérale de la France.*

28° De M. Burel, membre de la Société, des exemplaires d'une note sur le *Montage et la manœuvre du métier à tisser.*

29° De M. Dubied, membre de la Société, un exemplaire de son rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse sur le *Concours ouvert par elle pour la meilleure chaudière à vapeur.*

30° De M. Léon Malo, membre de la Société, un exemplaire des rapports de M. l'ingénieur de Mondésir sur les *Essais du système Palazot faits à la direction générale des tabacs*, et par M. Linder à *la machine de la distribution d'eau à Bordeaux.*

31° De M. Lencauchez, membre de la Société, une notice sur une *Chaudière tubulaire à déjecteur surchauffeur et à foyer fumivore.*

32° De M. Brissaud, membre de la Société, des exemplaires de son mémoire *sur les ponts suspendus.*

33° Le numéro du Bulletin de la Société *of Mechanical Engineers.*

34° De M. Émile Trélat, membre de la Société, des exemplaires de brochures relatives à l'*École centrale d'architecture.*

35° De M. Schneider, président du Comité des forges de France, membre de la Société :

1° Un exemplaire de l'atlas des *Ouvrages d'art et des locomotives exécutés aux usines du Creuzot.*

2° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux des usines du Creuzot.*

3° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux de MM. Karcher et Westermann, maîtres de forges.*

4° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux de MM. Lasson, Salmon et C^e^, maîtres de forges.*

5° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux des usines et forges de Châtillon et Commentry.*

6° Un exemplaire de l'Album de la Société *Boigues, Rambourg et C^e^, hauts-fourneaux, fonderies et forges de Fourchambault, Torteron, Montluçon et la Pique.*

7° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux de la Société la Providence.*

8° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux de MM. Dupont et Dreyfus, maîtres de forges.*

9° Un exemplaire de l'Album des *fers spéciaux et fontes moulées de la Société anonyme des hauts-fourneaux de Maubeuge.*

10° Un exemplaire de l'Album des *types des rails en acier et croisements de voie en acier fondu, coulé, exécuté par MM. Petin, Gaudet et C^ie^.*

11° Un exemplaire de différents types des *fers spéciaux des forges de Manois* (*Haute-Marne*).

12° Un exemplaire des différentes *types des fers spéciaux des forges de la maison Harel et C^ie^, à Pont-l'Évêque.*

36° De M. Lehaître, membre de la Société, un exemplaire des *Études de la traversée du Simplon entre Gliss-Brigg et Domo-d'Ossola.*

37° De M. Jules Godard, ingénieur civil, un exemplaire de son *Étude comparative de divers systèmes de ponts en fer.*

38° Les numéros du deuxième trimestre 1865 des *Nouvelles Annales de la construction.*

39° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du *Portefeuille économique des machines.*

40° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de l'*Album pratique de l'art industriel.*

41° Les numéros du deuxième trimestre 1865 des *Nouvelles Annales d'agriculture.*

42° Les numéros du deuxième trimestre 1865 des *Annales télégraphiques.*

43° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *le Cosmos*.

44° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de la revue *la Presse scientifique*.

45° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de la revue *les Mondes*.

46° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *The Engineer*.

47° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du bulletin de la *Société d'Encouragement*.

48° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du bulletin de la *Société de géographie*.

49° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture*.

50° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *l'Invention*.

51° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de la *Revista obras publicas*.

52° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de la *Revue des Deux Mondes*.

53° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de la *Revue contemporaine*.

54° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *la Célébrité*.

55° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du *Journal des Mines*.

56° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du *Journal de l'éclairage au gaz*.

57° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *l'Isthme de Suez*.

58° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *l'Enseignement professionnel*.

59° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du *Journal des chemins de fer*.

60° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *la Semaine financière*.

61° Les numéros du deuxième trimestre 1865 du journal *El Monitor cientifico industrial*.

62° Les numéros du deuxième trimestre 1865 des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées*.

63° Le numéro de la 6e livraison de 1864 et la 1re de 1865 des *Annales des Mines*.

64° Les numéros de septembre et octobre 1864 des *Annales des ponts et chaussées*.

65° Le numéro de la 3e livraison de 1864 des *Publications administratives*.

66° Le numéro de janvier, février, mars et avril 1865 du Bulletin de la *Société de Mulhouse*.

67° Les numéros du deuxième trimestre 1865 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie*.

Les Membres nouvellement admis comme Sociétaires sont les suivants :

Au mois d'avril :

MM. Demanest, présenté par MM. Carpentier Chuwab et Delebecque.
Loiseau, présenté par MM. Boivin, Salvetat et Tronquoy.
Mathey, présenté par MM. Caillet, Gotschalk et de Mastaing.
Rosiès, présenté par MM. Desbrière, Fèvre et Sérafon.

Au mois de mai :

MM. Dieudonné, présenté par MM. Bonnet, Perdonnet et Vuillemin.
Lehaître, présenté par MM. Flachat, Gouin et Petiet.
De Puylaroque, présenté par MM. Molinos, Nozo et Salvetat.

Au mois de juin :

MM. Flavien, présenté par MM. Alcan, Aboilard et Debauge.
Javal, présenté par MM. Degousée, Jullien et Vuillemin.
Vinay, présenté par MM. Maure, Molinos et Thévenet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1865

Séance du 7 Avril 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

La parole est donnée à M. Lehaître pour communiquer une note sur *un système de charpente suspendue*, proposé par MM. Lehaître et de Mondésir.

Cette note devant être publiée *in extenso* dans les bulletins de la Société, nous n'en donnerons ici que quelques extraits.

M. LEHAÎTRE dit que la construction des charpentes pour la couverture des bâtiments a fait dans ces derniers temps de très-grands progrès, grâce à l'emploi du fer et de la fonte. Néanmoins, il n'a pas été possible, dans les limites raisonnables de dépense, de dépasser des portées de 30 à 35 mètres, et ce n'est qu'exceptionnellement et avec des sacrifices considérables qu'on a pu construire des portées de 45 à 50 mètres. On comprend cependant l'importance qu'il y aurait pour des halles, marchés, gares de chemins de fer, hippodromes, etc., à pouvoir disposer de grands espaces couverts, sans supports intermédiaires; ces supports, en effet, présentent une foule d'inconvénients qu'il est inutile de rappeler ici. MM. Lehaître et de Mondésir ont recherché la solution du problème dont il s'agit dans l'emploi des câbles de suspension, dont l'application a été limitée jusqu'à ce jour à la construction des ponts suspendus.

Les principaux inconvénients que présente l'application des câbles aux ponts suspendus disparaissent complétement dans l'application aux charpentes. L'effort supporté par les câbles n'étant pas variable, on n'a pas à craindre les mouvements d'oscillation si dangereux, et qui augmentent considérablement les frais d'entretien des tabliers.

Les câbles des charpentes peuvent toujours s'amarrer *à sec* dans l'intérieur des murs de refend.

Les avantages de la nouvelle application ressortent d'eux-mêmes. L'un des plus remarquables consiste dans une grande économie, conséquence de la légèreté du système.

Les auteurs de ce nouveau système ne veulent point faire de ces idées prochaines nouvelles un objet de spéculation, ils désirent au contraire les vulgariser, les communiquant à tous les hommes compétents, et en les soumettant à l'appréciation des sociétés savantes.

Parmi les applications nombreuses que l'on peut faire de ce système, ils signalent les suivantes :

1° Construction de *grands cirques, avec colonne au centre;*

2° Construction de *grands cirques, sans colonne au centre;*

3° Construction de *grandes nefs éclairées par en haut,* soit avec des vitrages horizontaux, soit par des jours verticaux;

4° Établissement d'une *série de galeries longitudinales et transversales,* avec piliers en quinconce, espacés de 30 à 75 mètres.

Ils font une description sommaire du mode de construction qu'ils proposent : pour un cirque de 200 mètres de diamètre intérieur, et pour un cirque de 100 mètres de diamètre intérieur, avec pilier au centre; pour un cirque de 100 mètres de diamètre intérieur, et pour une halle de 50 mètres de diamètre intérieur, avec greniers ou magasins, sans pilier intérieur.

Dans les deux premières constructions, les câbles de suspension viendront s'amarrer sur un chapeau en tôle fixé sur le sommet de la colonne, et passeront sur des rouleaux de friction placés sur les murs de refend d'une galerie circulaire en maçonnerie, de 28 mètres de largeur, qui entourerait l'espace à couvrir, pour aller s'amarrer dans une galerie où il sera facile de circuler, et par suite de les visiter. Ces câbles de suspension, à l'aide de supports en fer ou en fonte, reliés entre eux, supportent des arbalétriers en fer, lesquels portent les pannes, les voliges et une couverture, soit en tôle, soit en zinc. La toiture est disposée en gradins, et les jours sont pris dans les parties verticales qui séparent deux gradins successifs.

Il résulte des calculs approximatifs faits par MM. Lehaître et de Mondésir, qu'une telle construction, comptée à partir du sol (les fondations non comprises), en employant du fil de fer qui supporte un effort de 1/10 de sa résistance absolue, la colonne n'étant soumise qu'à un effort maximum de 7 kilog. par centimètre carré à sa base, et 4 kilog. au sommet, du zinc n° 14, des maçonneries en pierre de taille, la dépense n'atteindrait pas à la moitié des constructions actuelles pour halles et marchés.

Un cirque de 100 mètres de diamètre établi dans les mêmes conditions de solidité, la colonne centrale étant en fonte au lieu d'être en maçonnerie, reviendrait à 96 fr. au maximum.

Un cirque de 100 mètres de diamètre, sans pilier au centre, éclairé par une lanterne centrale supportée par une couverture attachée aux câbles de suspension, coûterait 90 fr. par mètre carré.

Une halle de 50 mètres de diamètre du même système, reviendrait à 70 fr. par mètre carré.

Dans ces constructions, dont la charpente est suspendue, le poids des murs de refend de la galerie extérieure est utilisé pour la résistance à la tension des câbles.

La note comprend ensuite la description de l'application du système à des bâtiments rectangulaires.

Pour une salle rectangulaire de 75 mètres de largeur, avec des bâtiments latéraux dont les murs de refend servent aux amarres des câbles, les câbles sont supportés par des piliers posés sur les murs de refend; ils supportent, à l'aide de tiges de suspension,

ers dans le sens transversal. Pour ne pas trop surélever les piliers, la arbalétrier voisine de ces piliers est supportée par des tiges soumises à un traction, tandis que vers le milieu ils sont soutenus par des tiges verticales, s à un effort de compression.

ance des câbles est réglée par la longueur des pannes qui, dans le projet, est PRÉ mètres. Dans ces conditions, le mètre carré couvert, y compris bâtiments (au-dessus du sol), revient à 75 fr.; des jours sont pris sur les rampants de erture. En donnant plus de hauteur aux piliers sur lesquels passent les câbles, ut dans ce mode de construction éclairer par des jours verticaux, mais alors le x s'élève à 85 fr. le mètre carré.

Une salle rectangulaire de 150 mètres de largeur (éclairée par des jours pris sur les rampants) reviendrait à 85 fr.; les jours étant verticaux, le mètre carré ressort à 95 fr.

Pour des portées de 250 mètres, MM. Lehaître et de Mondésir admettent que le prix ne serait que les deux tiers de celui des portées de 30 à 40 mètres (dans les modes de construction ordinaire), et qu'il ne dépasserait pas 160 fr.

Enfin, en dernier lieu, les auteurs du mémoire exposent les dispositions qu'ils projettent pour des *bâtiments avec galeries longitudinales de 40 mètres et galeries transversales de 30 mètres de largeur et des bâtiments avec galeries longitudinales de 75 mètres et galeries transversales de 40 mètres de largeur*, qui seraient spécialement applicables à des expositions ou pour de grandes halles et magasins. Ces galeries sont disposées de telle sorte que les supports sont en quinconce, et forment une série de salles disposées en échiquier. La portée des pannes serait trop grande, si les câbles n'étaient placés que dans un sens, et on a adopté des câbles transversaux, longitudinaux et diagonaux. Tous ces câbles se réunissent au-dessus de chaque pilier. et comme ils sont diamétralement opposés l'un à l'autre, leur effort horizontal de renversement est détruit, et il ne reste plus que les composantes verticales, c'est-à-dire une pression verticale sur le pilier.

Tous ces câbles vont s'amarrer, comme dans le cas précédent, aux murs de refend des bâtiments latéraux. Les arbalétriers, placés dans le plan même des câbles, sont supportés par des tiges de suspension ou par des supports, et ils reçoivent les pannes et vitraux.

L'écoulement des eaux pluviales se fait par l'intérieur des piliers.

Cette disposition, aussi légère qu'elle serait gracieuse, forme en quelque sorte une série de voûtes, d'arêtes dont les arbalétriers placés dans le plan des câbles diagonaux forment les intersections.

La dépense pour la première construction (de 45 mètres) est évaluée à 55 fr. La dépense pour la deuxième de 75 mètres est estimée à 70 fr.

Il est évident que tous les prix qui sont indiqués seraient réduits si, au lieu d'employer du zinc, de la pierre de taille, du fer et de la fonte, on employait le carton bitumé et la charpente en sapin.

La dépense pour les deux derniers spécimens dont il a été question, et qui sont applicables à des bâtiments d'exposition, serait de 35 fr. (galeries de 40 mètres), et 45 fr. (galeries de 75 mètres).

M. Lehaître fait remarquer que ces chiffres résultent de l'application de la série des prix de la ville de Paris.

M. le Président remercie M. Lehaître de son intéressante communication et fait

observer que ce travail présente une importance immédiate en raison de la prochaine exposition qui doit s'ouvrir à Paris en 1867.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite la parole à M. Flachat pour lire, au sujet du mémoire précédent, une note intitulée : *Considérations sur les projets d'application de la suspension métallique aux toitures à grandes portées.*

M. FLACHAT pense qu'un intérêt de circonstance s'attache au projet qui vient d'être présenté; la prochaine Exposition universelle soulève de nouveau la question des grandes portées couvrant des espaces considérables avec sécurité, avantage et économie, mais elle est intéressante aussi pour les gares et les remises des chemins de fer, pour les amphithéâtres, les hippodromes, les ateliers industriels, etc., dans lesquels il convient d'éviter l'encombrement des points d'appui et qui exigent une hauteur suffisante pour donner beaucoup d'air sans courants actifs, ainsi qu'une lumière égale et bien dirigée. M. Flachat signale les inconvénients des systèmes actuellement en usage.

1° Les points d'appui, auxquels il faut subordonner presque toujours les aménagements intérieurs, et qui ôtent les facilités d'accès et de manœuvre sur une partie de la surface couverte;

2° L'aménagement des égouts subordonné aux points d'appui, aux descentes d'eau, aux versants des toits, est très-souvent une servitude nuisible au bon emploi du sous-sol;

3° Les difficultés de donner à la lumière la direction qui conviendrait le mieux;

4° L'incommodité des courants d'air violents dans les bâtiments trop bas.

Dans le système proposé, au contraire, les points d'appui sont rares; il y aura donc facilité, si on l'applique à l'Exposition prochaine, d'établir des voies ferrées qui, au moyen de grues et de chariots de montage, permettront de manœuvrer les pièces les plus lourdes, amenées directement par les chemins de fer, sans démontage et par conséquent avec une grande économie de temps et d'argent.

Au point de vue technique, M. Flachat rappelle que dans les divers emplois de métal, celui qui est limité à un effort *de traction* est le plus économique, parce que l'effort ne dévie pas. Deux difficultés s'opposaient à cette disposition : l'une, la plus grave, est dans les mouvements oscillatoires et ondulatoires propres aux corps suspendus dans l'espace, mais on a vaincu cette difficulté (le pont du chemin de fer sur le Niagara en est un exemple), et MM. Lebaître et de Mondésir ont très-habilement satisfait à la condition de rigidité de l'ensemble par la disposition qui constitue une série de parallélogrammes verticaux et horizontaux assemblés entre eux et dont l'homogénéité s'oppose à toute déformation. La lumière peut être distribuée suivant les besoins, sans gêner l'inclinaison des versants des toitures qui peut être telle, que la neige glisse aussitôt qu'elle acquiert une certaine épaisseur.

Le fer employé à la suspension est soumis à un effort maximum de 8 kilogrammes; il y a là un coefficient de sécurité tout à fait satisfaisant.

Quant aux sous-pressions, elles sont d'autant moins à craindre que les pièces du système sont plus solidaires et qu'elles présentent par suite plus de résistance à la déformation.

D'ailleurs, dans nos contrées, la sous-pression ne paraît pas s'élever au delà de 20 ou 25 kilogrammes par mètre carré et toutes les couvertures bien faites peuvent résister à une sous-pression quadruple de celle-là.

La deuxième difficulté à l'emploi du système de suspension métallique est dans la nécessité de trouver des points d'attache dans les constructions adjacentes; mais dans

les cas où des bâtiments latéraux sont une annexe indispensable, cette objection disparaît. C'est sur tous ces points qu'ont porté les études des auteurs des projets.

M. Flachat, en terminant, exprime l'espoir que ces projets, qui étendent l'art de la construction, qui agrandissent le champ des applications du fer à des édifices que des besoins nouveaux réclament, et dont l'établissement n'est possible que par l'emploi du métal, trouveront de prochaines occasions de prendre place parmi les solutions dont l'ingénieur dispose.

M. le Président, en remerciant M. Flachat de l'intérêt qu'il porte à la Société, intérêt dont cette analyse donne une nouvelle preuve, ajourne à l'une des prochaines réunions la discussion sur ce sujet, lorsque la publication par extrait du mémoire de MM. Lehaître et de Mondésir, et des observations de M. Flachat, aura permis à MM. les membres de la Société d'étudier les projets dont les dessins sont déposés aux archives.

M. Jullien, invité par M. le président à continuer ses communications sur les *fontes* et *aciers*, montre à la Société deux échantillons de fer rond de 18 millimètres de diamètre, dont l'un est du fer brûlé, et l'autre est du fer brûlé et recuit en vase clos. Le premier est cassant comme du verre et impropre aux usages auxquels on destine le métal; analysé par M. Boussingault, il a accusé la présence de 1/10,000 d'azote en poids, ce qui correspond à 2/3 en volume. Il serait très-intéressant d'y rechercher l'oxygène. Le second est du fer à nerf de première qualité, et démontre toute l'importance du recuit en vase clos, tant pour l'acier que pour le fer.

M. Jullien reprend ensuite la lecture de son mémoire :

Quand un corps change de température, que le fait ait lieu instantanément ou progressivement, il ne se produit jamais qu'un changement de volume ou un changement d'état physique.

Pourquoi en serait-il autrement, quand on refroidit les corps qui donnent lieu aux phénomènes spéciaux de la trempe? Tous ces corps sont solides après la trempe; or, l'état solide jouit d'une propriété que ne possèdent ni l'état liquide ni l'état gazeux; il est susceptible d'affecter deux structures, l'une cristalline, l'autre amorphe, que l'on obtient généralement en prenant un corps liquide, et en le soumettant tantôt à un refroidissement brusque, tantôt à un refroidissement lent. « Si, donc, de deux « corps qui forment entre eux une dissolution liquide, l'un cristallise par refroidisse- « ment brusque, l'autre cristallise par refroidissement lent, il est évident que, suivant « la vitesse extrême avec laquelle a lieu la solidification du composé, ce dernier doit « accuser, froid, les propriétés du composant qui a cristallisé. De plus, si le refroi- « dissement n'est pas assez brusque pour faire cristalliser l'un, et pas assez lent « pour faire cristalliser l'autre, le composé solide doit participer des propriétés de ses « deux composants amorphes. »

Donc, suivant la vitesse avec laquelle elle a été solidifiée, une dissolution liquide peut donner naissance à trois composés solides physiquement différents.

Toute la théorie de la trempe est dans ces quelques mots.

M. Jullien démontre alors que les métaux, le soufre, le phosphore et la silice sont des types de corps qui, pris liquides, *cristallisent* en se solidifiant sous l'influence du refroidissement suffisamment lent; passent à l'état amorphe en se solidifiant sous l'influence du refroidissement suffisamment brusque; pris froids et amorphes, cristallisent sous l'influence du recuit suffisamment prolongé.

Le carbone et les silicates neutres, au contraire, sont des types de corps qui, pris liquides, cristallisent en se solidifiant sous l'influence du refroidissement suffisam-

ment brusque; passent à l'état amorphe, en se solidifiant sous l'influence du refroidissement suffisamment lent; pris froids et cristallisés, passent à l'état amorphe sous l'influence du recuit suffisamment prolongé.

De là cette conclusion :

Le carbone et les silicates neutres cristallisent de la surface au centre.

Les métaux, le soufre, le phosphore et la silice cristallisent du centre à la surface.

Le carbone cristallisé est le diamant; le carbone amorphe est le graphite. Quand on recuit le diamant, il se convertit en graphite.

Le graphite, dit cristallisé, qu'on trouve dans la nature, ne peut être autre chose que du diamant recuit. Mais, objecte-t-on, ce graphite est cristallisé en hexaèdres, tandis que le diamant est cristallisé en octaèdres. Qu'on examine, s'il en existe, les échantillons de graphite cristallisé, en hexaèdres, et on reconnaîtra que ce n'est autre chose que du graphite moulé dans le calcaire hexaédrique en contact, comme dans la fonte grise, le graphite cristallisé en cubes est du graphite moulé dans les cristaux de fer en contact avec lui. Il suffit d'énoncer ce fait pour qu'il soit admis; il y a amorphisme ou cristallisation; il ne peut y avoir les deux simultanément.

Trempe du bronze. — Autant le cuivre cristallise difficilement sous l'influence du recuit prolongé, autant, au contraire, l'étain cristallise facilement quand il est refroidi lentement. M. JULLIEN en conclut que, puisque l'étain est liquide dans le bronze chauffé au rouge, si on prend une lame de bronze, la chauffe au rouge et la refroidit lentement, l'étain cristallise en se solidifiant, et communique au composé sa texture cristalline. Si, au contraire, on la refroidit brusquement, l'étain passe à l'état amorphe, et contribue, avec le cuivre, à donner au composé la texture fibreuse qu'il accuse dans ce cas.

Il résulte de cette explication que le métal de cloches doit sa texture cristalline et sa sonorité à la cristallisation de l'étain. Ce métal recuit et plongé dans l'eau fraîche doit perdre une partie de ces deux propriétés.

Trempe des fontes et aciers. — Pour démontrer que le fer et le carbone ne se combinent pas entre eux, M. JULLIEN invoque les faits suivants, savoir :

1° Quand on attaque de l'acier par de l'eau chargée d'iode ou de brôme, le métal se dissout, et, si la réaction est complète, il reste, pour résidu, non un carbure de fer, mais du carbone pur.

2° Quand on chauffe ensemble du fer et du carbone, que le métal soit solide, que le métal soit liquide, dans les deux cas, ce dernier absorbe du carbone; mais, quelque longtemps que dure la réaction, il n'en absorbe jamais assez pour constituer, avec le métalloïde, une combinaison intégrale et définie.

3° Quand la fonte liquide se solidifie lentement, elle dépose, non à l'état de carbure de fer, mais à l'état de graphite, toute la proportion du composant que le fer ne peut dissoudre quand il est solide.

Partant de ce principe que le fer ne se combine pas avec le carbone, mais le dissout, M. JULLIEN explique ainsi qu'il suit les effets de la trempe sur les fontes et aciers :

Du moment où, sous l'influence de la température rouge cerise au moins, le carbone, quoique solide, pénètre dans le métal solide en contact avec lui, comme ce fait ne peut avoir lieu que si le métalloïde est doué de la mobilité atomique, c'est-à-dire est liquide ou gazeux, il faut en conclure que, au rouge cerise, le carbone se liquéfie au contact du fer et se dissout dans ce métal; il en résulte que l'on peut définir l'acier affectant la température rouge cerise : *une dissolution de carbone liquide dans*

le fer solide. Si le métal est amorphe, comme le carbone liquide passe lui-même à l'état amorphe sous l'influence du refroidissement lent, on peut définir l'acier du commerce à texture fibreuse : *une dissolution de carbone amorphe dans le fer amorphe.*

Si, lorsqu'il affecte la température rouge, on plonge l'acier dans l'eau fraîche, le carbone cristallise en se solidifiant sous l'influence du refroidissement brusque, et on obtient l'acier trempé ou *dissolution de carbone cristallisé dans le fer amorphe.* Si on soumet une barre d'acier à l'action du recuit dans la partie la plus chaude d'une caisse à cémenter, le fer cristallise, et, si on la laisse refroidir lentement, on obtient l'acier à facettes ou *dissolution de carbone amorphe dans le fer cristallisé.* Si on chauffe au rouge une barre d'acier à facettes et en plonge seulement la moitié dans l'eau fraîche, la texture de la partie trempée change complétement, et devient celle de l'acier trempé. Ainsi, la cristallisation du carbone détruit celle du fer. Mais si on réchauffe de nouveau au rouge et laisse refroidir lentement, le carbone repasse à l'état liquide, puis à l'état amorphe; quant au fer, il reprend sa texture cristalline à facettes cubiques.

Quand c'est le fer qui cristallise, les cristaux du métal sont apparents, parce qu'ils se forment sous l'influence d'un recuit prolongé. Quand c'est le carbone, au contraire, qui cristallise, les cristaux sont insaisissables, parce que la solidification du métalloïde est instantanée.

Recuit de l'acier trempé. — L'acier trempé se ramollissant sous l'influence de la température, M. Jullien admet que ce fait est une preuve que le carbone est liquide dans le fer à des températures beaucoup plus basses que le rouge cerise. Si la trempe dans l'eau après le recuit aux colorations *jaune, orangé, rouge, violet, indigo, bleu, vert,* n'a pas pour effet de faire de nouveau cristalliser la portion de carbone qui s'est liquéfiée, cela tient à ce que la différence des températures entre la barre et l'eau est insuffisante. Si on trempait dans du mercure à 20 degrés au-dessous de zéro les barres recuites aux colorations ci-dessus, il est probable qu'elles récupéreraient la dureté que le recuit leur a fait perdre.

Tant que le fer, en contact avec le carbone, dans les caisses à cémenter, reste solide, la proportion de ce métalloïde qu'il dissout ne dépasse jamais 2 p. 100, quelque élevée que soit la température; mais, si cette dernière est suffisante pour mettre le composé en fusion, le fer se sature immédiatement d'une nouvelle dose de carbone qui peut s'élever à 3.25 p. 100, soit en tout à 5.25 p. 100. Le composé porte alors le nom de fonte.

Si on prend de la fonte liquide et la coule dans une lingotière métallique froide suffisamment épaisse, le carbone cristallise intégralement en se solidifiant, et on obtient la fonte blanche ou *dissolution du carbone cristallisé dans le fer amorphe.*

Si, au contraire, on la coule dans un moule en sable d'étuve très-chaud et en plaque suffisamment épaisse, le carbone passe à l'état amorphe en se solidifiant; le fer, au contraire, cristallise, mais il ne garde que la proportion de carbone qu'il peut dissoudre, solide, à la température à laquelle a lieu la solidification. L'autre proportion de carbone est rejetée à l'état de graphite, et on obtient alors la fonte grise à facettes ou *mélange de graphite et d'acier à facettes.*

Si enfin on la coule dans un moule en sable vert et en plaque mince ou en lingotière chaude, le refroidissement n'étant pas suffisamment brusque pour faire cristalliser le carbone, et pas suffisamment lent pour faire cristalliser le fer, on obtient la fonte douce, dite mécanique, ou *mélange atomique de graphite et d'acier amorphe.*

Quand on chauffe au rouge cerise une plaquette de fonte grise et la plonge dans l'eau, on obtient la fonte grise trempée ou *mélange de graphite et d'acier trempé.*

Quand on recuit la fonte blanche en vase clos, le carbone cristallisé se liquéfie, le fer rejette immédiatement ce qu'il n'en peut dissoudre solide, et la fonte blanche se trouve convertie en fonte grise.

Comme le recuit de l'acier ne produit pas cet effet, on peut dire que ce qui distingue la fonte blanche de l'acier trempé, c'est que, dans ce dernier cas, la dissolution est en équilibre stable, tandis que dans la fonte blanche elle est en équilibre instable.

La réaction dans les hauts-fourneaux est la suivante, savoir :

1° Décomposition de l'oxyde de fer par le carbone et l'oxyde de carbone, dans la *cuve.*

2° Dissolution du carbone dans le fer et génération de l'acier spongieux au *ventre.*

3° Fusion de l'acier aux *étalages.*

4° Saturation du métal liquide et genération de la fonte dans l'ouvrage.

La fonte grise étant le résultat d'une allure chaude; la fonte blanche, au contraire, étant le résultat d'une allure froide ou trop chaude, comme l'allure trop chaude est l'effet d'un vent trop fort qui élève le centre de combustion et refroidit l'ouvrage, on peut dire que :

Quand la fonte liquide est suffisamment chaude, elle devient grise en refroidissant, parce que la chaleur qu'elle renferme empêche le carbone de cristalliser.

Quand la fonte liquide est suffisamment froide, elle devient blanche en refroidissant, parce que rien ne s'oppose à la cristallisation du carbone. Il résulte de là que, si, dans certains cas, il faut exalter le pouvoir excessif pour faire cristalliser le carbone au moment de sa solidification, dans certains autres il suffit de ne pas l'anéantir pour arriver au même résultat. Voilà pourquoi une barre d'acier à limes, chauffée au rouge, exige la trempe dans l'eau fraîche pour devenir dure, tandis que, étirée en tôle fine, elle devient dure en refroidissant dans l'air au sortir du laminoir.

Bien que l'allure froide et l'allure trop chaude donnent toutes deux de la fonte blanche, il y a une différence à établir entre la fonte blanche de l'allure froide et la fonte blanche de l'allure trop chaude. La première est *grenue* et peu saturée de carbone, parce qu'elle se produit à basse température; c'est une espèce d'acier impur. La seconde est lamelleuse, et contient (Karsten, § 177) jusqu'à 5.25 p. 100 de carbone. C'est la plus riche en carbone, parce que c'est celle qui s'engendre à la plus haute température, ce qui ne l'empêche pas d'arriver froide au creuset.

M. Dubied donne lecture d'une note *sur une méthode d'enseignement professionnel de la mécanique industrielle au moyen de machines fonctionnant devant les élèves.*

Dans le rapport adressé à l'Empereur sur l'enseignement professionnel par M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, en date du 22 juin 1862, il est question de la création d'écoles nouvelles, où les ouvriers, enfants et adultes viendraient puiser les notions techniques qui sont nécessaires à chacun d'eux dans le genre d'industrie qu'il a embrassé.

L'utilité de pareilles institutions ne peut faire doute pour personne, car il y a longtemps que bien des esprits sérieux sont frappés de voir, dans nos populations ouvrières, les hommes les plus habiles rester étrangers aux principes des machines et appareils qu'ils confectionnent, et dont ils se servent journellement.....

M. Dubied voudrait, par la méthode qu'il propose, *faciliter à tous les ouvriers de la grande armée industrielle,* dans laquelle il comprend le manufacturier, l'ingénieur,

le dessinateur et les ouvriers de toutes les professions, *le moyen de connaître d'une manière complète les principes, le mode d'action le plus avantageux et les détails de construction de toutes les machines, appareils et outils employés par les diverses industries mécaniques.*

Il signale les avantages qui résultent pour tous d'un emploi intelligent des machines, avantages qui se traduisent par l'amélioration des produits, l'augmentation des bénéfices et des salaires. Il fait ressortir l'insuffisance des moyens actuellement employés pour faire pénétrer la science mécanique dans l'industrie générale; les lacunes que présente encore l'enseignement de nos *écoles industrielles*, et l'absence presque complète d'instruction professionnelle de nos ouvriers qui, entrant à l'atelier au sortir de l'école primaire, trouvent peu d'occasions pour développer leurs connaissances.

Le Conservatoire des Arts et métiers offre seul, à Paris, des galeries, un portefeuille et une bibliothèque où l'ouvrier puisse aller étudier. Mais cela au prix de dérangements considérables.

Pour atteindre l'ouvrier, il faut aller l'instruire dans le quartier qu'il habite.

La méthode propice consiste à faire fonctionner, dans un vaste local ouvert au public, une ou plusieurs machines contenant le plus grand nombre d'organes mécaniques possible. Un professeur en expliquerait l'usage en se servant, en outre, pour la facilité de la démonstration, de dessins complets et de groupes de pièces représentant isolément chaque mouvement de la machine.

Quand tous les mouvements auront été expliqués séparément, que l'auditeur comprendra bien le but de la machine, il saisira facilement en la voyant marcher la relation de ses organes et la fonction de chacun d'eux dans l'ensemble, et il aura recueilli et gravé dans sa mémoire une quantité de faits utiles et intéressants.

Dans le même local serait placée, en outre, la collection complète de toutes les transmissions ou transformations de mouvements élémentaires connus, en leur donnant autant que possible les formes et les proportions qu'elles revêtent dans une des machines où elles sont employées.

Ce local serait à toute heure ouvert au public, et des brochures descriptives, avec dessins de chaque machine, seraient distribués aux auditeurs et leur permettraient de compléter ou remplacer les leçons des professeurs auxquelles on n'aurait pu assister.

Les mêmes machines et brochures pourraient être mises à la disposition des ouvriers dans différents centres industriels, et on arriverait ainsi à instruire un grand nombre de personnes avec une dépense relativement minime.

M. Dubied ne voit dans sa méthode que l'extension à l'enseignement de la mécanique de ce qui se pratique dans les cours de physique et de chimie, où le professeur démontre les faits qu'il énonce par des expériences directes.

« Nous atteindrons un double but, c'est d'offrir, d'une part, aux élèves des écoles un correctif aux lacunes de l'enseignement industriel pendant que, d'autre part, nous donnons aux ouvriers les moyens d'acquérir, ailleurs que dans des ouvrages toujours trop savants pour eux, la connaissance des principes des machines. . . . .

. . . . . .

Nous espérons arriver par là à développer l'esprit d'amélioration et d'invention dont les fruits ont une si grande influence sur le bien-être moral et matériel des nations civilisées. »

MM. Ansart, Demanest, Loiseau, Matthey et Rosies ont été reçus Membres Sociétaires.

Séance du 21 Avril 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT, en faisant connaître les ouvrages et mémoires présentés à la Société, donne lecture d'une lettre de M. Flachat, que cet habile ingénieur a rédigée pour appeler l'attention de ses collègues sur l'avancement des travaux du tunnel du mont Cenis. Cette lettre est ainsi conçue :

Monsieur le Président,

M. Sommeiller, ingénieur en chef, directeur des travaux du percement du mont Cenis, adresse à la Société des Ingénieurs civils trois tableaux, dont le premier indique l'avancement aux deux entrées du tunnel, soit par les moyens mécaniques, soit par les moyens ordinaires, jusqu'au 31 décembre 1864.

Le second indique l'avancement obtenu par les moyens mécaniques, durant l'année 1864.

Le troisième indique l'avancement obtenu pendant le premier trimestre 1865.

Les moyens mécaniques de perforation par l'application des forces hydrauliques à la compression de l'air, ont été exclusivement employés aux deux extrémités du tunnel depuis l'année 1863.

Le percement est commencé depuis 1858, mais ce n'est réellement que de 1863 qu'il faut dater la marche normale des travaux.

Sur les 4,423^{m},40 percés au 1er avril 1865, 2,777^{m},40 l'ont été par les moyens mécaniques; et 1,646 mètres, à l'origine, par les moyens ordinaires.

Sur les 2,777^{m},40 percés par les moyens mécaniques, 2,227 l'ont été depuis 1863,

Savoir : en 1863	802	2,227^{m}40
— en 1864	1,088	
Dans le premier trimestre de 1865	337,40	

La longueur du tunnel entre les fausses têtes étant de 12,220 mètres, il restait à percer, au 1er avril 1865, 7,977 mètres.

L'avancement moyen obtenu par jour a été en 1863	2^{m},02
En 1864	2^{m},92
En 1865	3^{m},75

Si la marche actuelle se soutient, le tunnel serait percé dans 2,060 jours ou 5 ans et huit mois.

Il n'est pas besoin de rappeler que, grâce au choix du moteur, la profondeur du percement n'en accroît nullement les difficultés.

Que les chances de rencontre de terrains plus résistants ou d'une exploitation plus difficile, ne paraissent pas se modifier défavorablement.

Que la progression du travail par jour qui, en deux ans, a été de 2m,02 à 3m,75, peut se continuer sans qu'il soit supposable qu'elle se réduira.

Qu'en conséquence il y a de justes raisons de considérer ce grand travail d'art comme entré dans sa période définitive d'avancement régulier, et d'attribuer la régularité et la facilité des travaux au choix du moteur et à ses bonnes conditions d'emploi.

Permettez-moi de vous rappeler à cette occasion que M. Sommeiller a envoyé à notre Société une notice très-détaillée des procédés de travail du percement. Cette notice a été traduite par un des membres de notre Société, M. Berton, auquel la langue italienne est familière. Ne serait-il pas utile que cette notice, ou du moins un extrait étendu de cette notice fût inséré au bulletin de notre Société,

Recevez, monsieur le Président, etc.

M. LE PRÉSIDENT regarde comme utile que les renseignements contenus dans la notice adressée par M. Sommeiller et les observations que renferme le premier travail de l'auteur soient reproduits, avec l'assentiment de M. Sommeiller, dans le Bulletin de la Société. Le bureau fera toutes les démarches nécessaires.

M. LE PRÉSIDENT lit une seconde lettre de M. Flachat, qui accompagne la présentation de deux notes de M. Desgrange, membre de la Société. Cette lettre, qui résume les notes en question, sera reproduite dans le compte rendu : elle fait connaître des résultats intéressants à plus d'un titre. En voici la teneur :

Monsieur le Président,

J'ai l'honneur de vous adresser de la part de M. Desgrange, ingénieur en chef du matériel et de la traction du chemin de fer du sud de l'Autriche, deux documents pleins d'intérêt. L'un est une note sur l'exploitation du Semmering en 1864. Cette note continue les précédentes. L'exploitation d'un chemin de fer en traversée de montagne n'a pas d'histoire plus détaillée et plus complète que les communications successives de M. Desgrange à notre Société.

Chaque année apporte des progrès très-sensibles en économie, en régularité et en rapidité de transport, par l'amélioration du matériel moteur.

Le second document est une note sur l'usine pour fabriquer et renouveler les rails, établie à Gratz (Styrie) par la Compagnie des chemins de fer du sud de l'Autriche.

J'extrais de la lettre que m'a adressée M. Desgrange les passages suivants qui montrent l'intérêt de cette communication :

« 1° Les dépenses du Semmering ont encore subi une certaine réduction en 1864, et la dépense de traction par kilomètre est descendue de 2,155 fr. à 1,885.

« 2° Les dépenses d'entretien de la voie ont également été réduites, et ne sont plus que de 8,893 par kilomètre et par an.

« 3° Nous avons apporté une nouvelle modification aux machines en augmentant la surface de chauffe de 18,57 0/0, à l'occasion du remplacement de deux anciennes chaudières défectueuses.

« Je suis persuadé que nous obtiendrons encore de nouvelles réductions de dépenses en 1865.

« J'ai également l'intention de modifier le système des six machines *Engerth* qui font les trains de voyageurs du Semmering, en transformant ce système en une simple machine *tender* à six roues couplées, avec articulation du quatrième essieu.

« L'usine que notre Compagnie a établie à Gratz pour la fabrication des rails neufs par l'emploi des vieux rails et des autres ferrailles de l'exploitation est en fonction depuis plus de trois ans, et la Compagnie n'a qu'à se féliciter des bons résultats de la fabrication, puisque le prix de 9 à 10 florins le quintal de 50 kilog. qu'elle payait aux usines du pays pour ses rails, se trouve maintenant réduit à moins de 6 florins, tout en tenant compte des vieux matériaux au prix de plus de 3 fr. 50.

« J'ajouterai qu'on a joint à cette usine un établissement complet pour la fabrication de l'acier Bessemer que l'on emploie maintenant pour la tête des rails, et qu'on fabrique actuellement par ce procédé tous les rails destinés à la ligne du *Brenner*, et ceux pour l'entretien du Semmering. »

Recevez, monsieur le Président, etc.

M. Love donne communication du travail qu'il a rédigé sur l'ouvrage que M. Goschler, membre de la Société, lui a présenté dans la séance du 3 février dernier.

M. Goschler vient de publier sous les auspices de notre éminent confrère et ancien président, M. Eugène Flachat, et de présenter à la Société le premier volume d'un ouvrage *sur l'entretien et l'exploitation des chemins de fer*.

Laissant à l'un des principaux initiateurs des chemins de fer en France, à notre président honoraire, M. Perdonnet, le champ large, théorique et pratique de la construction et de l'exploitation des voies ferrées, qu'il n'est donné encore qu'à un très-petit nombre d'ingénieurs d'embrasser, M. Goschler s'est renfermé dans un cadre plus restreint, mais qui, bien rempli, offrira autant d'intérêt que d'utilité; car, ainsi que l'indique la mention qui précède, il ne s'occupe que d'entretien et d'exploitation, et encore ne prétend-il le faire *qu'au point de vue pratique*. Aussi le lecteur ne doit-il pas chercher dans cet ouvrage des vues générales, des discussions de principe. — L'auteur se renferme strictement dans son programme. Il nous promet, par son titre, des détails pratiques sur toutes les questions qui intéressent l'entretien de la voie, l'exploitation, etc., et il suffit de feuilleter le volume paru, pendant un quart d'heure, pour s'assurer qu'à ce point de vue il nous donne en général bonne et large mesure. Un examen plus détaillé montre que les préceptes, les règles pratiques ne manquent pas non plus; et l'on peut prévoir que cet ouvrage, continué comme il a été commencé, recevra partout un bon accueil. Car, aux jeunes ingénieurs, il offre d'emblée le résultat de la pratique de leurs anciens, et si à ces derniers il ne présente que les notions qu'ils ont acquises par une longue expérience, les documents qu'ils possèdent déjà en grande partie, au moins le fait-il avec cet avantage marqué de leur épargner, à propos de ces documents, des recherches longues et pénibles dans de nombreuses notes manuscrites ou dans un grand nombre de publications sur la matière, en les rassemblant méthodiquement dans quelques volumes.

L'ouvrage de notre confrère sera divisé en quatre parties traitant successivement : *du service de la voie, du matériel et de la traction, de l'exploitation, de l'administration.*

Le premier volume qui fait l'objet de cette note n'a pas encore épuisé le premier sujet, puisqu'il laisse à traiter cinq chapitres importants qui entreront dans le

deuxième volume actuellement sous presse, et qui se rapportent : 1° aux appareils de la voie; changements, plaques tournantes, chariots, etc.; 2° aux accessoires de la voie : signaux, grues, poteaux indicateurs, etc.; 3° aux stations; 4° à la surveillance, à l'entretien et à la police de la voie, et 5° enfin à la comptabilité.

Le volume dont il s'agit traite dans cinq chapitres, dont nous passerons une revue rapide : *des terrassements, des ouvrages d'art, des cultures et défenses du chemin, du matériel de la voie, de la préparation, de la pose et de l'entretien de la voie.* Il se termine par des annexes comprenant des programmes de cahier des charges pour les divers travaux dont il a été question dans le cours du volume, des types de séries de prix de ces travaux, des sous-détails de prix de revient des voies de diverses Compagnies, etc., documents dont la citation seule fait comprendre l'utilité.

L'ouvrage débute d'ailleurs, sous forme d'introduction, par quelques détails sur les conditions d'établissement d'un chemin de fer, où nous trouvons constaté le fait important que l'on ne soupçonnait pas encore il y a quelques années, celui du trafic considérable que l'on peut effectuer sur un chemin de fer à une seule voie, fait dont il y aura à tirer un parti plus large qu'on ne l'a fait jusqu'ici dans les nouvelles concessions.

L'auteur y pose cette question que, selon lui, devra s'adresser tout ingénieur appelé à exécuter un chemin de fer : dans quelle direction devra-t-on ménager les pentes et les courbes, pour arriver à l'exploitation la plus fructueuse? Nous avons vu cette idée produite dans plusieurs publications; nous ne nous rappelons pas si la question a été suivie quelque part d'un exemple où un ingénieur aurait distribué ses pentes de manière à satisfaire à cette condition de préparer d'une manière aussi générale une exploitation facile; mais ce que nous pouvons dire, après plusieurs milliers de kilomètres d'études de tracé, c'est qu'il ne nous paraît pas qu'il soit au pouvoir de l'ingénieur de résoudre le problème de cette façon. Les conditions principales d'un tracé lui sont imposées, dans de certaines limites, par les failles à franchir, les pentes des vallées à suivre, leurs sinuosités, le nombre, la nature et l'importance des contre-forts qu'il y rencontre et qui viennent s'opposer à l'adoption uniforme de l'inclinaison du thalweg ou à une distribution facultative des courbes, pentes et rampes. Aussi le terrain étant donné, le plus avisé fera de son mieux pour y adapter le meilleur tracé et ne pourra, en général, reporter ni ses pentes ni ses courbes d'un endroit à un autre pour la plus grande commodité de l'exploitation. Il cherchera avec raison à améliorer les unes et les autres autant que le comporteront la nature plus ou moins accidentée du terrain et l'importance présumée de l'exploitation, et se laissera volontiers aller à faire des économies, quitte à forcer l'exploitation à pratiquer le proverbe : *Nécessité est mère de l'industrie,* c'est-à-dire à inventer des moyens nouveaux de se tirer d'affaire. Sans cela, nous en serions toujours aux pentes maxima de 4 à 5 millimètres, aux chemins de fer de 5 à 600,000 le kilomètre; nous ne saurions pas encore s'il est possible d'avoir recours à des pentes de 20 millimètres, à des rayons de 300 mètres, et les machines n'auraient pas été amenées au degré de perfection et d'utilité où elles sont aujourd'hui.

Le chapitre des terrassements entre dans le détail des conditions ordinaires de l'exécution de ces sortes de travaux et donne au paragraphe de l'entretien des détails nombreux sur la manière de maintenir les talus des tranchées et des remblais, suivant la nature des terrains. Ces détails sont accompagnés de dessins intercalés dans le texte, qui y ajoutent une grande valeur. M. Goschler n'a pas perdu de vue que les dessins sont la moitié de la langue et de l'écriture de l'ingénieur, et avec beau-

coup de raison, il s'en est montré prodigue. Nous ajouterons que quoique exécutés à une petite échelle, ils sont si soignés et au besoin accompagnés d'un tel nombre de cotes, qu'ils ont toute la clarté et l'utilité de ceux dont nous faisons collection dans de grands et souvent incommodes albums. A ces détails, il ajoute des prix de revient, des cas de consolidation intéressants ; et plus d'un ingénieur de la voie qui n'osait attaquer en grand un talus éboulueux, et se contentait de palliatifs qui finissaient par coûter cher sans atteindre un bon résultat, en présence d'un exemple où tout se trouve réuni : moyen à employer éclairci par un dessin, efficacité montrée par l'expérience et surtout prix de revient, se décidera à attaquer plus résolûment les difficultés qui se présenteront à lui.

Le chapitre des travaux d'art expose rapidement les divers travaux auxquels donne lieu l'exécution d'un chemin de fer et passe en revue les divers matériaux employés d'après les données reçues de l'expérience et consignées dans tous les cahiers des charges. Nous ne relèverons à ce dernier propos que l'assertion qui consiste à dire « que l'expérience semble prouver que l'on doit généralement préférer le fer à la « fonte, *cette dernière présentant une trop grande incertitude de résistance nor-* « *male.* »

Après l'exécution des ponts tubulaires de Stephenson et la rupture d'un pont en fonte sur le chemin de Chester à Holy-Head, il s'est produit à notre avis un engouement pour le fer aussi peu raisonnable que l'éloignement que l'on a montré pour les constructions en fonte. Disons tout de suite que l'expérience n'a pas montré que les ponts en fonte bien conçus et bien exécutés se comportassent plus mal que les ponts en fer construits avec le même soin. Nous ne sommes d'ailleurs qu'au début des ponts en tôle, et il y a des ponts en fonte qui existent depuis 70 ans et qui ne paraissent pas moins solides que le premier jour. Ajoutons que le pont en fonte sur la Dee, qui a cédé en 1847 au passage d'un train, était un ouvrage mal conçu en fer et fonte, et que c'est le premier de ces métaux qui a faibli, si nous avons bonne mémoire. Quant à la résistance de la fonte à la traction, par exemple, l'expérience montre que suivant les usines elle varie de 7 à 800 kilogrammes par centimètre carré à 2,000^k, c'est-à-dire du simple au triple, et que celle du fer varie de 1,500 à 4,800 et même 5,000, c'est-à-dire dans les mêmes proportions que la fonte. Les écarts entre les échantillons de fontes de même provenance ne sont d'ailleurs pas plus grands que ceux observés dans des barreaux de fer sortant de la même usine. Cette manière de voir est confirmée par ce fait capital : c'est que les cas de résistance observés expérimentalement dans les piliers, les poutres et les tuyaux en fonte ne montrent que des écarts peu fréquents, malgré les imperfections inévitables de la fabrication (écarts qui par parenthèse s'observent également dans les expériences sur le fer), et qu'en dernière analyse les résultats d'expériences sur la fonte donnent lieu, sous les diverses formes sous lesquelles elle est employée, à des courbes d'une régularité remarquable et que nous avons pu dans chaque cas traduire par des formules très-simples.

Puisque nous sommes en train de relever un passage où nous sommes légèrement en dissidence avec notre camarade M. Goschler, nous lui adresserons une autre observation ; elle a trait à un autre passage de son livre, page 133, où il est dit que dans les ponts en tôle « les assemblages devant être étudiés pour que *les rivets ne* « *travaillent pas au cisaillement*, mais déterminent, entre les parties assemblées, « *un* frottement produit par le serrage des têtes, si ces rivets ne travaillaient plus « dans ce sens, c'est-à-dire étaient soumis au cisaillement, par suite de leur

« allongement, les conditions de résistance seraient modifiées au détriment de l'ou-
« vrage. »

Notre confrère partage ici l'opinion émise par plusieurs ingénieurs anglais fort distingués, entre autres M. Edwin Clarck, qui affirme, à la page 396 de son ouvrage sur les ponts tubulaires de Stephenson, « *que l'on peut arriver, par une rivure judi-*
« *cieuse et bien faite, à compenser complétement, par le frottement dû à la contrac-*
« *tion des rivets, la perte occasionnée par le percement des trous dans la tôle.* » Il est à remarquer que les expériences citées par M. Clarck ne l'autorisaient nullement à tirer cette conclusion, puisqu'il en résultait que malgré les soins donnés à la rivure dans les cas cités, la résistance due au frottement n'était que le *tiers* de celle du rivet au cisaillement. D'ailleurs il est utile de ne pas perdre de vue que le surcroît de résistance, probablement fort irrégulier, obtenu par la contraction du rivet, disparaît bientôt en partie par les vibrations communiquées aux constructions mises en place ; de telle sorte que contrairement à l'assertion de M. Edwin Clark, il vaut mieux ne pas compter là-dessus et calculer les proportions relatives de la tôle et des rivets, en n'admettant que la résistance de ces derniers au cisaillement. C'est, du reste, si je ne me trompe, ce que font tous les praticiens.

Les observations de M. Goschler sur les matériaux sont suivies d'un article très-intéressant sur le remplacement de travaux d'art en cours d'exploitation.

Naturellement le pont d'Asnières, exécuté par M. Flachat, occupe dans les exemples cités la première place par l'importance de la construction, les difficultés spéciales qu'elle a présentées et l'époque où elle a été exécutée. Toutefois, après cet exemple, on lira encore avec fruit ceux relatifs au pont de l'Ilmenau près de Lunebourg, et du pont de Gerdau sur le chemin de Lehrte à Harbourg, du tunnel d'Armentières, etc. Ajoutons que pour compléter cet article et rendre justice à qui de droit, il eût été désirable que M. Goschler joignît aux exemples rapportés celui de l'un des grands ponts sur la Seine, exécuté avec habileté par notre camarade M. Lucien Lemoinne, sur le chemin de fer de Paris à Rouen. Espérons que cette omission sera réparée dans la 2e édition, et que de son côté M. Lemoine rendra cette réparation plus facile en présentant à la Société, dans le courant de cette année, un mémoire sur les travaux en question.

Le chapitre III fournit les documents les plus complets que nous connaissions sur les cultures et défenses des chemins, comprenant les semis, gazonnements et plantations, les clôtures et barrières de passages à niveau de toute espèce. Ces renseignements sont accompagnés de nombreux détails sur les prix de revient.

Le chapitre IV est un des plus importants, il traite du matériel de la voie, c'est-à-dire du ballast, des traverses ou longrines, des rails et de leurs accessoires. M. Goschler donne de bonnes indications sur les qualités que doit offrir le bon ballast, mais il est peut-être un peu absolu en conseillant au constructeur de faire immédiatement le sacrifice nécessaire pour s'en procurer du bon au lieu de se contenter pour commencer de ce qu'il peut trouver de plus convenable à bon marché. En effet, il peut se rencontrer de telles circonstances où le bon ballast ne puisse être obtenu qu'en franchissant des distances considérables qui ne sont abordables que lorsque la voie est posée. Dans ce cas, et lorsque le chemin était principalement en remblai, nous avons vu établir la voie sur du ballast de qualité médiocre, comme le sable des dunes ou la craie; et lorsque les rechargements sont devenus nécessaires (ce qui arrive très-vite sur une ligne récemment ouverte à l'exploitation), on a rapporté du ballast de bonne qualité puisé à des distances de 17 à 25 kilomètres au moyen de machines, on est

arrivé ainsi à obtenir de bon ballast qui n'a pas coûté le quart de ce que l'on aurait dépensé si l'on avait voulu y avoir recours immédiatement.

Il importe d'ailleurs de faire observer que tous les ingénieurs ne s'accordent pas à considérer, comme donnant de bons résultats, l'emploi simultané de la craie gelive sous les traverses et du gros sable en recouvrement. Dans l'expérience que nous en avons faite au chemin de fer d'Amiens à Boulogne, nous avons trouvé que la craie gelive était une des matières les plus mauvaises que l'on pût employer comme ballast, se comportant très-mal dans le bourrage et que dans l'entretien il était difficile d'exiger des hommes assez de soins pour ne pas la mélanger avec le sable et gâter celui-ci. Aussi ne conseillerions-nous l'emploi de cette craie que comme une extrémité à laquelle il faudrait renoncer à la première occasion. A cela près, nous ne pouvons que louer les détails nombreux et excellents que M. Goschler donne sur les diverses natures de ballast, et nous recommanderons également ceux qu'il a rassemblés sur le débitage, la préparation des traverses et leur emploi. A cet égard, nous ferons une observation à laquelle il nous semble que les ingénieurs n'ont pas donné une attention suffisante : Dans les fréquentes tournées à pied que nous avons faites sur la voie pour étudier les détails de l'entretien, nous avons toujours remarqué que les traverses courbes, à la limite ordinaire de la tolérance, tenaient mal le bourrage; ce dont il est facile de se rendre compte. Aussi en avons-nous conservé une certaine prévention contre les traverses demi-rondes en chêne dans lesquelles il nous a paru que se rencontre le plus souvent cette fâcheuse particularité.

En terminant cet article, M. Goschler appelle avec raison l'attention des ingénieurs sur l'emploi des traverses métalliques. Le prix des ouvrages en tôle est tombé si bas depuis quelque temps que le moment nous semble venu, en effet, où les ingénieurs doivent s'appliquer à trouver des formes et dimensions pour ce genre de traverses qui en rendent l'emploi avantageux non-seulement au point de vue de l'entretien et du renouvellement, mais aussi de premier établissement. M. Goschler nous paraît résumer sagement en quelques mots la question tant débattue des rails à champignons et des rails Vignolles. L'avantage est à ceux-ci sans contredit pour les frais de premier établissement; mais il reste encore à décider par expérience si cet avantage n'est pas contre-balancé par les frais d'entretien et de renouvellement. Nous espérons que notre camarade, M. Alquié, qui fait depuis un certain temps l'expérience de ce rail sur le chemin de fer du Nord, nous fixera un jour ou l'autre sur cette intéressante question. L'auteur entre ensuite dans des détails circonstanciés sur la fabrication des rails et leur réception, l'emploi des rails en acier, détails auxquels son expérience en métallurgie donne une valeur particulière. Toutefois, nous ferons remarquer que dans les épreuves que l'on fait subir aux rails, nous ne pensons pas qu'il y ait lieu, ainsi qu'il le croit, de tenir compte d'une différence de température de quelques degrés, puisque l'expérience directe a constaté que chauffé à une température de 274° le fer ne perd que les 0,07 de sa résistance.

Au sujet des épreuves que l'on fait subir à la fonte des coussinets, M. Goschler cite, sans la recommander, celle usitée par la compagnie de Lyon, et qui consiste dans la rupture à l'appareil de Monge d'un barreau de fonte *de 8 centimètres d'équarrissage*. On sait que la résistance de la fonte diminue beaucoup à mesure que son épaisseur augmente, ce qui, dans une autre circonstance, nous a fait émettre le vœu que pour rendre comparables les expériences faites par les diverses Compagnies, on s'entendît sur les dimensions des barreaux à essayer. Nous ne pouvons laisser échapper l'occasion de revenir sur ce point et de recommander le calibre uniforme de

2 centimètres 1/2 qui aurait, en outre, l'avantage de rendre les expériences faites en France comparables à celles faites en Angleterre sur une très-grande échelle.

Le chapitre que nous examinons se termine par l'examen détaillé des attaches des rails au sujet desquelles nous ne pouvons mentionner que le soin apporté à tout dire en évitant des détails inutiles et des longueurs.

Sous le titre : *Préparation, pose et entretien de la voie,* le dernier chapitre traite de la conservation des bois, du sabotage des traverses, de la préparation des rails et de leurs accessoires, du coltinage, du profil et de la pose de la voie, et enfin de l'entretien et de la réfection. M. Goschler examine les procédés de conservation qui ont donné les meilleurs résultats, et malgré des réserves, qui par parenthèse ne nous paraissent pas fondées, il ressort de ses observations comme de l'expérience personnelle que chacun de nous peut en avoir aujourd'hui, que le procedé Legé-Fleury au sulfate de cuivre, introduit par pression en vase clos après dessiccation préalable des bois par la vapeur, est le moyen le plus rationnel, le plus rapide et le plus économique. Toutefois, la créosote conserve toujours sur le sulfate de cuivre l'avantage de ne pas corroder les attaches.

Les articles du sabotage et de la préparation des rails et de leurs accessoires sont très-complets. A propos du profil de la voie, M. Goschler discute très-sommairement la largeur de la voie, et conclut que si dans un pays comme le nôtre cette largeur doit être partout celle adoptée dès l'origine, l'Espagne, l'Irlande et la Russie ont peut-être bien fait de l'augmenter. C'est là une question qui méritait plus de développements et pour laquelle l'auteur aurait trouvé des éléments d'appréciation dans la longue discussion qui eut lieu au sein de la Société des ingénieurs civils de Londres, sur le chemin de Londres à Bristol, construit par Brunel.

A propos de la détermination de l'épaisseur du ballast sous la traverse, M. Goschler semble ne donner pour règle que le plus ou moins de perméabilité à l'eau des matériaux formant le corps de la levée. Il est utile de rappeler que le ballast a aussi pour objet de répartir sur la plus grande surface possible la pression transmise aux traverses par les moteurs et les véhicules, de diminuer par là les tassements et de les rendre plus uniformes. Pour atteindre ce résultat, il faudrait que le ballast eût une épaisseur proportionnée à l'écartement des traverses, ce à quoi personne ne paraît avoir jamais songé. Cette question se lie à celle de la longueur de la traverse et de l'étendue sur laquelle le bourrage doit s'effectuer suivant le cas. Il est évident que pour transmettre au ballast une pression uniforme, il faudrait que la surface d'appui de chaque côté du rail fût égale, ce qui conduit à l'adoption de traverses de trois mètres de longueur que l'on ne trouve qu'en Angleterre. Si l'on consulte le tableau donné à la page 465 des longueurs usitées dans les différents pays de l'Europe, on trouve que les ingénieurs anglais semblent seuls avoir attaché quelque importance à cette question.

Nous avons eu l'occasion, dès le début de notre carrière, de constater combien elle est importante au point de vue de l'entretien en remarquant avec quelle rapidité les traverses de $2^m,40$ du chemin de fer de Saint-Germain, établies sur un terrain consolidé, perdaient leur assiette auprès de celles du chemin de fer de Rouen, ayant $2^m,75$ de longueur et posées sur un remblai d'une date récente.

Pour éviter l'inconvénient de la flexion inévitable des traverses courtes, on a dû en venir à limiter le bourrage de chaque côté du rail et à perdre ainsi le bénéfice de l'augmentation de l'assiette sur le ballast. Rationnellement une traverse de $2^m,40$ ne devrait être bourrée de chaque côté que sur une longueur de 0,45, ce qui donne avec une largeur de 0,20 une surface d'appui totale de 0,36, tandis qu'une traverse de

3 mètres pouvant être bourrée sur toute sa longueur donne une surface d'appui à peu près double. Nous sollicitons pour la prochaine édition l'attention de notre camarade sur cette question.

Nous aurions bien encore à mettre en lumière beaucoup de points traités par M. Goschler, mais nous craignons d'avoir dépassé déjà les limites d'un compte rendu.

Nous nous arrêterons donc ici, en priant la Société de nous excuser d'avoir été si *long* et en exhortant ceux de nos camarades, en grand nombre, que les questions traitées par M. Goschler concernent plus particulièrement, à lire son intéressant et utile ouvrage.

M. LE PRÉSIDENT, en remerciant M. Love du travail consciencieux qu'il vient de lire, fait remarquer l'esprit de saine critique qui l'a guidé; de semblables observations *présentées* avec tant de mesure ne peuvent être que très-utiles aux auteurs qui sont comme M. Goschler disposés à les discuter et à en tenir compte dans des éditions subséquentes.

M. CH. LAURENT rappelle les différentes communications qu'il a faites à la Société des ingénieurs civils et à la Société géologique de France sur la constitution géologique du Sahara de la province de Constantine. Il met sous les yeux de la Société toutes les coupes des forages qui ont été exécutés depuis 1856. Un ensemble de 86 sondages pratiqués au désert et dans la plaine du Hodna donnait à la fin de la campagne dernière 93,044 mètres cubes d'eau jaillissante par 24 heures.

On comprend combien il importe d'examiner quelles sont les grandes lignes d'écoulement qui forment les espèces de lits de rivières souterraines descendant des hauts plateaux qui dominent le Sahara.

En cherchant ainsi qu'il l'avait fait précédemment à coordonner toutes ces coupes, en les rapportant aux nivellements barométriques qui indiquent le relief du sol, et dans le but de découvrir s'il est possible les lois qui régissent les grandes variations présentées par les puits artésiens dans leur rendement, il s'est trouvé arrêté par d'énormes différences entre les résultats donnés par les observateurs.

Ces résultats varient pour Biskra, par exemple, entre 89 mètres et 137m,50 d'altitude.

Il est admis assez généralement que le Chott Melvir, qui occupe à peu près le centre du Sahara algérien de la province de Constantine, serait une énorme dépression de 75 à 80 mètres au-dessous de la Méditerranée.

Cette estimation, d'après les expériences barométriques d'une part et d'autre part d'après les calculs faits en 1845 par M. Virlet-d'Aoust sur les documents géographiques que l'on possédait à cette époque, serait loin d'être exacte, et M. Ch. Laurent reprenant les mêmes calculs en se servant de distances mieux connues, serait bien près de conclure que cette dépression, si elle existe, est loin d'avoir l'importance qu'on lui donne.

C'est en étudiant cette question qu'il a été conduit par l'examen d'une carte ancienne déjà signalée par M. Virlet-d'Aoust à des observations assez singulières sur la géographie du temps passé. Il présente à ce sujet le fac-simile d'une *carte de la navigation des Argonautes du monde primitif suivant les périples de Timée, d'Hécatée, d'Apollonius et d'Onomacrite pour servir à l'histoire de la Grèce.*

Cette carte indique presqu'à l'endroit où se trouve le Coudiat-el-Dohor, monticules du Sahara, une île Hespérie avec cette annotation : « Lorsque les eaux couvraient encore les pieds des monts Atlas. » L'isthme de Suez était ouverte, la presqu'île du Sinaï réduite à une île, et la mer Caspienne communiquant par quatre détroits avec les mers du Nord, la mer Noire et le golfe Persique.

Cinq cartes successives de la mer Caspienne représentent les divers changements qu'elle a subis.

Les deux premières, celles de Ptolémée et d'Albufeda, bien que présentant des contours différents, réunissent cette mer à la mer d'Aral. La carte de Pierre le Grand rectifiée par d'Anville les sépare, mais leur configuration est loin d'être celle d'aujourd'hui, dont les cartes suivantes se rapprochent beaucoup plus.

Différents tracés indiquent aussi au temps d'Alexandre et de la domination romaine que les eaux du désert et les Chotts du Hodna ont éprouvé de grands changements.

Après avoir recherché l'opinion des anciens sur les modifications qu'ils ont observées (faisant toutes réserves sur ce qui peut être regardé comme trop fantastique) ou les faits qu'ils nous fournissent sur les migrations des peuples et les idées qu'ils émettent sur la géographie de leur époque, M. Ch. Laurent examine les mouvements contemporains du sol que la science moderne constate; bien que faibles en apparence, ils donnent la mesure de ce qui a pu se présenter aux temps historiques les plus reculés.

Enfin, il admet que les mouvements du sol lorsqu'ils affectent des terrains meubles donnent lieu à des formes souvent favorables aux recherches d'eaux artésiennes. Soit que ces terrains comblent des golfes comme au Sahara, retrécissent ou remplissent d'anciennes mers comme les steppes de la mer Caspienne ou de la mer d'Aral, soit qu'ils forment des deltas comme à Venise, soit enfin qu'ils proviennent de déjections de volcans, comme ceux qui couvrent le littoral de la mer entre le pied du Vésuve et le golfe de Naples.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Laurent de son intéressante communication et l'invite à combiner des gravures sur bois pour les joindre dans le texte à l'impression qu'il destine au Bulletin de la Société.

M. DONNAT donne lecture pour M. Delonchant d'une note sur la conservation des grains.

M. Delonchant ne traite dans cette note que de l'usage des greniers ordinaires qui sont de beaucoup les plus répandus à cause de la faible dépense relative qu'exige leur construction.

Mais l'emmagasinage dans ces greniers oblige un pelletage d'autant plus souvent répété et d'autant plus énergique, que les grains contiendront plus d'humidité, et qu'ils seront entassés à une plus forte épaisseur, sans quoi une fermentation nuisible ne tarderait pas à s'établir, et les grains seraient bientôt complétement avariés.

Cette obligation du pelletage entraîne une main-d'œuvre qui ne laisse pas d'être assez onéreuse pour qu'il y ait intérêt à la rendre inutile, ou au moins très-rare, lorsque la présence d'insectes granivores n'en fait pas une obligation.

Tout le monde sait que du grain même très-humide se dessèche promptement et se conserve indéfiniment lorsqu'il est étendu sur une aire sèche, en couche suffisam-

ment mince. Or, une disposition qui mettrait une masse aussi épaisse que la solidité du plancher le permet, dans les mêmes conditions que si cette masse était étendue en couches minces, résoudrait la question si cette disposition n'apportait aucun obstacle à aucune manutention, et surtout si la construction n'entraînait qu'à une dépense insignifiante eu égard au service rendu.

Reprenant des études commencées déjà depuis longtemps, M. Delonchant s'est occupé de nouveau :

1° De rendre les greniers ordinaires capables de conserver les grains sur une épaisseur qui n'a de limite que la solidité même du plancher, en introduisant dans toute l'épaisseur de la masse une circulation abondante d'air, circulation qui peut être plus ou moins activée suivant les besoins, par de simples cheminées d'appel;

2° De disposer l'appareil de manière à ce qu'il soit facilement démontable par le premier venu, afin de n'apporter aucun obstacle aux pelletages que la présence d'insectes granivores peuvent rendre quelquefois nécessaires, et encore qu'il ne puisse servir d'asile à aucune vermine;

3° Enfin d'adopter un système de construction n'entraînant qu'une dépense tellement minime, qu'elle ne puisse être un obstacle pour personne, en même temps que les frais d'entretien soient à peu près nuls.

M. Delonchant croit avoir résolu complétement le problème; car un appareil qu'il a été autorisé à construire dans le dépôt des voies ferrées de la Compagnie générale des omnibus à Sèvres, à titre d'essai, contient à une épaisseur de 1 mètre, que la résistance du plancher n'a pas permis de dépasser, 24 mètres cubes environ d'avoine, qui y ont été placés le 1er novembre 1863, et qui depuis n'ont jamais reçu le moindre pelletage.

Un thermomètre fixé dans l'encoche d'un long bâton et plongé dans la profondeur de la masse, subit continuellement les mêmes variations que celles qui ont lieu à l'extérieur, quoique les cheminées d'appel qui débouchent dans le grenier même, n'aient que 2 mètres environ de hauteur.

L'avoine emmagasinée était comme tous les grains de l'année dernière, dans de très-bonnes conditions, ce qui est fâcheux au point de vue de l'expérience; mais les indications du thermomètre ne laissent aucun doute sur la parfaite circulation de l'air à travers la masse, et partout ailleurs dans les autres dépôts les mêmes avoines ont bien exigé un pelletage moins fréquent que de coutume, mais qui n'en a pas moins été nécessaire pour pouvoir être maintenues dans un état convenable.

Le coût de cet appareil revient à très-peu près à 2 fr. par mètre superficiel de grenier utilisé par le grain.

Description de l'appareil.

Il se compose :

1° D'une planche à champ qui de chaque côté du grenier, isole le grain des murs en laissant un passage pour le service. Ces planches fixées au plancher par des crampons en fer sont percées de trous triangulaires dont l'hypoténuse qui est horizontale a $0^m,24$, et les deux côtés qui sont en haut ont $0^m,17$.

Ces trous dont l'angle du haut, de 90°, est à $0^m,03$ du bord supérieur de la planche à champ, sont distancés d'axe en axe de $0^m,60$, et garnis chacun sur le devant d'un petit grillage métallique simplement cloué;

2° D'une cheminée horizontale, coffre formé d'une planche de fond, de deux planches de côté et d'un dessus à deux pentes à 45 degrés. Cette cheminée pénètre par chaque bout dans une cheminée verticale formée de quatre planches clouées. Son fond est à $0^m,30$ environ au-dessus du sol du grenier, les côtés sont percés en regard de ceux des planches de rive, d'un même nombre de trous de même forme. Chacun de ces trous est garni en dedans d'un cadre formé par des tasseaux de 35 millimètres d'épaisseur sur lesquels sont clouées des toiles métalliques qui se trouvent par conséquent enfoncées à $0^m,06$ de la surface extérieure des planches de côté;

3° De conduits formés par deux planches clouées, dont la section triangulaire est de la même dimension que celle des trous déjà décrits; ces conduits s'introduisent l'hypoténuse ouverte, tournée par le bas, dans les trous de la cheminée horizontale dans lesquels ils entrent assez avant pour avoir par l'autre bout un revêtement suffisant; mais sans pouvoir atteindre et endommager la toile métallique, leur introduction étant limitée par des tasseaux d'arrêt cloués sur ces conduits, puis ils sont ramenés par un mouvement inverse dans les trous des planches de rive où ils s'arrêtent à quelque distance des toiles par des tasseaux semblables à ceux de l'autre extrémité.

Les trous pratiqués dans les planches de rive, étant plus bas que ceux qui leur correspondent dans la cheminée horizontale, les conduits sont placés suivant une pente longitudinale qui, en facilitant le cours de l'air, les maintient bien en place.

Le tout est construit en planches de sapin de Lorraine brutes, sans ajustement et simplement clouées, de sorte que la façon de ces appareils est au plus bas prix qu'on puisse atteindre.

Le talus naturel de l'avoine est à peu près de 45°, de sorte que chaque conduit formerait dans la masse un vide dont la section serait un carré parfait, si le grain était versé avec précaution dans l'appareil; mais il n'en est pas ainsi; jeté avec plus ou moins de force, le talus ne se produit pas habituellement sous les conduits, de sorte que la section vide n'est réellement qu'un triangle dont l'aire est très-suffisante encore pour un grand écoulement d'air.

Les planches de rive et les cheminées sont fixées à demeure, les petits conduits sont mobiles et sont déposés en tas lorsque le grenier est vide de grains, pour être placés un à un lorsqu'il s'agit de remplir le grenier, chaque conduit devant toujours être mis en place avant que le talus formé par le grain n'ait atteint les trous dans lesquels ils doivent être introduits.

Lorsqu'il faut vider le grenier, on déplace successivement ces pièces au fur et à mesure qu'elles font obstacle à la pelle.

Les cotes ci-dessus ne sont pas obligatoires; mais seulement, pour mieux fixer les idées, M. Delonchant n'a donné qu'un rang de conduits à l'appareil qu'il a fait construire. Il faudrait en placer deux ou trois si la masse de grains était très-considérable d'épaisseur.

M. Delonchant compte continuer ses expériences avec des avoines nouvelles dans un autre dépôt sur une très-large échelle; il promet de tenir la Société au courant des résultats qui seront obtenus, et dès à présent il se met d'ailleurs à la disposition de tous ceux des membres de la Société, qui ayant à exécuter quelque chose d'analogue, désireraient être mieux renseignés que par cette note.

Séance du 5 Mai 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT, en ouvrant la séance, informe la Société que MM. Lehaître et de Mondésir sont présents à la séance.

L'ordre du jour appelle la discussion sur le système de charpente suspendue, proposé par MM. Lehaître et de Mondésir.

M. TRÉLAT demande la parole.— Les points saillants qui ressortent du travail de MM. Lehaître et de Mondésir sont, suivant M. Trélat, que la solution présentée permet de faire de très-grandes portées, et de les faire plus économiquement que par les systèmes employés jusqu'à ce jour.

M. TRÉLAT regrette de n'avoir pas trouvé, dans l'exposé qu'il a lu, les considérations théoriques qui permettent de se rendre compte de cette économie; l'examen trop sommaire sans doute qu'il a pu faire de la question, ne lui en a fait découvrir aucune.

MM. Lehaître et de Mondésir disent que, le comble étant suspendu, la matière y est utilisée suivant son aptitude de plus grande résistance et par conséquent dans des conditions qui doivent être économiques.— Ce raisonnement n'est pas, aux yeux de M. Trélat, une preuve suffisante, car il est parfaitement applicable aux dispositions actuelles, notamment aux fermes Polonceau. Dans ce système, que tout le monde connaît, s'il est bien étudié, les pièces sont toutes soumises à des efforts *simples* de traction ou de compression; aucune pièce n'est soumise à la flexion.

D'une part, les tirants travaillent à la traction.

D'autre part, si les arbalétriers trouvent dans la ferme un point d'appui et des contreventements au droit de chaque panne, ils ne reçoivent aucune charge entre ces points d'appui, ils ne travaillent pas à la flexion et n'ont qu'à résister à des efforts de compression simple. Mais si d'ailleurs on multiplie assez leurs points d'appui pour réduire le rapport de la section à la longueur de manière qu'on puisse admettre le coefficient de résistance maximum à la compression, qui pour le fer est le même que celui de la traction, on voit que dans la ferme Polonceau bien établie, toutes les pièces travailleront au coefficient uniforme de 6 kilos, par exemple.

Les conditions de travail du fer ne peuvent pas être meilleures dans le système de MM. Lehaître et de Mondésir; l'économie de ce système ne ressort donc pas directement de la suspension.

Du reste, l'application du principe de la suspension aux charpentes n'est pas nouvelle; il en a existé un exemple à Paris, au Panorama des Champs-Élysées, démoli à la suite de l'Exposition universelle de 1855. — Cet édifice, construit par M. Hittorff, avait 40 mètres de diamètre. La couverture devait satisfaire à certaines exigences, la lumière devait abonder le long du mur circulaire et par conséquent dans cette partie, la charpente devait présenter le moins possible de pièces pouvant porter des ombres qui auraient nui à l'effet panoramique de la toile.

On pouvait et il fallait, au contraire, mettre dans l'ombre les spectateurs placés au centre de l'édifice. C'était une opposition qui avantageait la vue du panorama.

En conséquence, on construisit par les moyens ordinaires une partie centrale pleine, et on la suspendit par douze tirants au mur circulaire de l'édifice.

La solution a été satisfaisante à tous égards, et lors de la démolition on a reconnu que toutes les parties étaient dans de très-bonnes conditions de résistance. Mais si elle a été motivée par des exigences spéciales, rien ne prouve qu'elle ait été économique, et M. Trélat ne pense pas que le système de la suspension offre plus de ressources que les moyens ordinaires.

Il est encore un autre argument auquel M. Trélat voudrait répondre. MM. Lehaître et de Mondésir trouvent une raison d'économie dans l'utilisation des murs de refend pour contre-peser sur l'attache des chaînes. M. Trélat conteste cette économie. On utilise en effet les murs de refend comme contre-poids, mais à la condition de faire travailler à outrance la partie des murs qui supporte l'inflexion du câble.

Dans les charpentes ordinaires, chaque mur ne supporte qu'une moitié du poids des fermes ; mais il s'ajoute à ce poids, dans le système suspendu, la réaction verticale très-importante du câble à laquelle on ne peut résister que par un excès de maçonnerie. Les murs doivent donc, dans ce dernier système, être plus forts qu'avec les charpentes ordinaires, donc plus coûteux.

M. Gaudry complète les renseignements fournis par M. Trélat sur le Panorama des Champs-Élysées.

Appelé en 1840 à construire le Panorama, M. Hittorff s'est trouvé en présence de deux problèmes à résoudre. Il fallait d'abord faire un monument, il fallait ensuite dans ce monument éviter les ombres portées sur la toile, condition essentielle dans un musée, et qui n'est malheureusement pas toujours remplie. Ainsi le Colosséum de Londres, édifice analogue au Panorama de Paris et digne d'intérêt à d'autres égards, est couvert au moyen d'une coupole en charpente qui porte des ombres très-nuisibles à l'effet de la peinture. Pour éviter cet inconvénient au Panorama, M. Hittorff a eu l'idée d'appliquer le système des ponts suspendus.

Il a présenté deux solutions : dans la première il attachait les câbles à des contre-forts à revers ; dans la seconde le câble était infléchi sur des bielles verticales surmontant à peu près le parement intérieur du mur circulaire.

M. Hittorff n'avait projeté que six tirants et six arbalétriers, mais l'administration a craint que ces tirants ne fussent trop chargés et en a exigé le doublement; la préférence a d'ailleurs été donnée à la 2e solution.

M. Gaudry fait passer sous les yeux de la Société un ouvrage donnant en détail la construction de cette charpente qui a duré 18 ans.

Lorsqu'on l'a démolie pour démasquer le Palais de l'Industrie, on a reconnu que la solidité de toutes les parties était aussi satisfaisante que possible.

M. Gaudry conclut de là que le système de MM. Lehaître et de Mondésir a reçu la consécration de l'expérience pour une portée de 40 mètres, et il ne voit pas de raison pour craindre de l'appliquer à une plus grande portée.

M. Alex. Barrault appuie le dire de M. Trélat sur l'ancienneté de l'application aux charpentes du principe de la suspension. Il a étudié sur ce principe, avec M. Flachat, il y a plus de vingt ans, des projets de couverture pour la gare de Saint-Germain. M. Barrault ne fait pas, du reste, d'objections au système qu'il croit applicable, dans certains cas, avec avantage.

M. Lehaître examine les deux objections faites par M. Trélat.

M. Trélat a dit d'abord qu'il ne voyait aucune raison théorique prouvant l'économie du système. En réponse à cette objection, M. Lehaître compare le poids que devrait avoir une poutre droite d'un pont de 400 mètres de portée, avec l'équivalent de cette poutre dans un pont suspendu, et il montre que dans la poutre il faudrait une grande hauteur, des sections hautes et basses considérables, sans compter celles des croisillons ou âmes pleines servant à maintenir à distance les tables résistantes.

Dans le système suspendu équivalent, les sections seraient infiniment moindres, les poids étant reportés aux extrémités sur des câbles dont la section ne sera même pas aussi forte que celle d'une seule des tables de la poutre droite.

Quant aux prix de revient indiqués par ces messieurs, M. Lehaître rappelle ce qui est dit dans leur mémoire, que les devis, faits avec le plus grand soin, ont été basés sur la série de la ville de Paris ; il offre d'ailleurs de les communiquer à ceux des membres de la Société qui désireraient les examiner.

M. Lehaître croit que le système des fermes ordinaires ne peut pas dépasser les limites de 40 à 50 mètres, et c'est surtout pour dépasser ces limites qu'il croit le système suspendu avantageux. Il n'a pas l'intention de le proposer pour les petites portées, parce qu'il ne présenterait évidemment pas d'économie; mais l'économie sera considérable sur les grandes portées. On peut d'ailleurs, avec ce système, dépasser de beaucoup les limites de portées auxquelles on est astreint avec le système ordinaire.

Quant à la seconde objection de M. Trélat, celle relative à la surcharge sur les maçonneries résultant de l'action des câbles de suspension.

M. Lehaître ne croit pas qu'on doive y attacher trop d'importance. Il y a en effet une surcharge, mais elle est bien faible relativement aux dimensions que doivent avoir les murs, et il n'y a pas à s'en inquiéter. Elle produira à peine un demi-*kilogramme* par centimètre carré de surcharge pour la pression.

Le système appliqué par M. Hittorff au Panorama des Champs-Élysées, cité par M. Trélat, pour montrer que le principe de la suspension n'est pas nouveau, ne paraît pas à M. Lehaître semblable au système qu'il propose conjointement avec M. de Mondésir. Selon M. Lehaître, le système Hittorff est plutôt une poutre armée à l'aide d'un tirant, système analogue à celui appliqué à certaines grues de déchargement dans lesquelles on soutient en certains points de leur longueur des poutres qui sans cela seraient trop faibles.

M. Lehaître projetait d'employer des câbles analogues pour armer les pannes et les faîtages, afin d'en diminuer le poids.

M. Trélat répond à M. Lehaître qu'il n'a pas eu un instant la pensée de comparer le système de suspension avec une poutre droite. Il avait en vue un système dans lequel aucune pièce ne travaille à la flexion. On sait, en effet, que pour résister à la flexion une pièce exige beaucoup de métal et que c'est un mode de travail auquel il est coûteux de pourvoir. Il s'est au contraire efforcé de montrer que dans la ferme Polonceau, telle qu'il la supposait composée, toutes les pièces étaient soumises à des efforts simples, traction ou compression. Les arbalétriers mêmes, du moment qu'ils sont soutenus aux points où aboutissent les pièces qui les chargent, ne résistent pas à la flexion.

Ces systèmes, que M. Lehaître limite à 40 ou 50 mètres de portée, paraissent à M. Trélat pouvoir couvrir des espaces beaucoup plus étendus, et il a étudié avec

M. Molinos, comme collaborateur de M. Flachat, des fermes de 85 mètres, qui, à la vérité n'ont pas été construites, mais qu'il croit très-exécutables, et dans lesquelles les arbalétriers étaient disposés comme il l'a déjà indiqué, et avaient par suite des dimensions très-réduites. Il s'agissait des halles centrales de Paris, dont le projet précité a motivé l'exécution des halles actuelles.

Néanmoins M. Trélat croit le câble intéressant; il admet qu'on l'a peut-être trop négligé, et qu'on pourra en faire, dans certains cas, d'heureuses applications.

M. DE MONDÉSIR demande à revenir sur les deux objections présentées par M. Trélat.

Il a pensé, d'accord avec M. Lehaître, que pour une assez grande portée le câble représente une grande économie de poids, et il croit pouvoir en donner la raison théorique, même en admettant les coefficients de travail qu'on prend pour calculer les fermes ordinaires. M. Trélat admet que dans une ferme fixe, toutes les pièces peuvent travailler également, mais il n'en est pas ainsi; les pièces ne travaillent pas au coefficient maximum; il y a donc un coefficient moyen plus faible que 6 kilog., de là un excédant de poids plus ou moins considérable, suivant que le travail moyen s'écarte plus ou moins du travail maximum.

Dans le système suspendu, au contraire, on est parfaitement sûr de pouvoir calculer exactement toutes les pièces de manière à leur faire supposer un travail uniforme de 6 kilogr.

M. DE MONDÉSIR conteste d'ailleurs la possibilité d'établir des fermes fixes au delà d'une certaine limite; cette impossibilité lui paraît démontrée par l'absence d'application. Il n'existe pas de fermes au delà de 40 à 50 mètres; du reste, au delà de ces portées, on arriverait certainement à des poids énormes.

Il n'en sera pas de même dans le système proposé; les exemples des ponts suspendus permettent parfaitement d'apprécier les augmentations de poids résultant de l'accroissement des portées, et montrent clairement que cet accroissement est loin d'être aussi grand que dans les fermes fixes.

M. DE MONDÉSIR, répondant à la deuxième objection, celle relative au supplément de maçonnerie nécessaire pour résister à la surcharge due à la composante verticale de la tension du câble, dit qu'il n'y a rien là de comparable avec ce qui existe dans les ponts suspendus; dans ce dernier cas, il faut des culées très-lourdes, il faut beaucoup moins de masse dans les culées d'une toiture. La maçonnerie nécessaire existe d'ailleurs presque toujours dans les constructions; on a toujours, en effet, un mur important au pourtour, souvent un double mur et des murs de refend; ce sont ces masses qui ne servent à rien au point de vue de la couverture dans le cas des fermes fixes, que MM. Lehaître et de Mondésir utilisent dans leur système sans leur donner plus d'importance. Peut-être, dans certains cas, se trouvera-t-on dans la nécessité d'ajouter quelque chose; mais les calculs auxquels ces messieurs se sont livrés leur ont démontré que ces additions auraient alors bien peu d'importance.

En tous cas, M. de Mondésir conteste qu'il faille avec le système suspendu plus de force de maçonnerie qu'avec des fermes fixes; on n'a, en définitive, dans un système comme dans l'autre, que la toiture à porter, et puisque le principe de la suspension conduit à des poids moindres que l'emploi des fermes fixes, il est de toute évidence qu'il faudra moins de maçonnerie dans le premier cas que dans le second.

Tout au plus faudra-t-il augmenter un peu les fondations au-dessous des chevalets sur lesquels le tirant s'infléchit, à l'endroit où agit la composante verticale du câble; mais si on examine les angles formés par les deux branches du câble avec

l'horizon, on peut se rendre compte immédiatement du peu d'intensité de cette composante et de la faible surcharge qui peut en résulter pour les fondations.

M. Love voit des raisons pratiques pour que les fermes fixes soient plus lourdes que les fermes suspendues. Ainsi dans un arbalétrier, la résistance est d'autant plus faible que le rapport de la plus petite dimension à la distance entre les points supportés est élevé. Déjà avec le rapport de 1 à 10 la résistance du fer est diminuée de près de moitié, et n'est plus alors que 2,000 kilog. environ par centimètre de section. Au contraire, les câbles des fermes suspendues peuvent être confectionnés en fer présentant une résistance à la traction de 4,000 kilog. par centimètre carré, ou en fil de fer dont la résistance peut s'élever jusqu'à 9,000 kilog. par centimètre carré. On peut, à la vérité, rapprocher les points d'entretoisement des arbalétriers pour diminuer ainsi le rapport de la petite dimension à la longueur, et augmenter le coefficient à admettre; mais ce résultat ne s'obtient qu'au moyen de pièces supplémentaires qui ajoutent du poids à la ferme. Du reste, dans toutes les fermes que M. Love a eu occasion d'examiner, le rapport de la petite dimension à la longueur était loin d'être 1/10, il a presque toujours observé des rapports de 1/20 à 1/30; dans ces conditions le coefficient de résistance descend à 1,700 kilogrammes, tandis que dans les fermes suspendues, la résistance étant indépendante de la longueur, elle se maintient au chiffre de 4,000 ou de 9,000, suivant qu'il s'agit du fer en barre ou du fil de fer.

Le bénéfice du système de MM. Lehaître et de Mondésir sur celui des fermes fixes est donc dans le rapport de 1 à 5. Cette considération lui paraît militer sérieusement en faveur de la suspension.

M. Trélat voudrait limiter les opinions. Il se rend à la raison donnée par M. Love, mais dans une certaine mesure. Il croit les rapports de 1/20 à 1/30 exagérés; toutefois il admet bien que l'écartement des entretoises amène forcément un certain accroissement dans le poids des arbalétriers.

Il admet avec M. de Mondésir que dans les fermes fixes il n'est pas toujours possible de savoir comment les pièces travaillent, et qu'il peut y avoir également de ce fait une diminution dans le coefficient moyen du travail, d'où une nouvelle augmentation de poids.

Il reconnaît par conséquent que le système de la suspension peut avoir quelques avantages. Mais il se demande s'il ne pourrait pas être établi autrement que le proposent MM. Lehaître et de Mondésir, c'est-à-dire de manière à éviter la surcharge résultant de l'action des tirants sur les supports. Ne pourrait-on pas, par exemple, adopter un système analogue à celui de certains ponts, comme le pont de Salstasch, entre autres, qui consisterait à avoir un arbalétrier droit ou en arc sous-tendu par un câble agissant par traction? Une disposition de cette nature lui paraîtrait présenter à la fois les avantages de la suspension au point de vue du travail des pièces, et ceux des fermes fixes qui ne donnent sur les supports d'autres réactions que celle due à leurs poids.

M. Tresca veut se borner à quelques observations sur les poids relatifs des deux modes de construction. Dans le comble ordinaire, le tirant est soumis à un effort de traction, les arbalétriers à un effort de compression. Si ce comble était renversé de manière que le faîtage se trouvât au-dessous de l'entrait, celui-ci serait au contraire soumis à un effort de compression égal à l'effort de traction du premier tirant, et les arbalétriers travailleraient au contraire à la traction. S'il était possible, dans l'un et l'autre cas, d'assurer la rigidité de tout le système, M. Trélat, se plaçant au point de

vue théorique, était dans la vérité en admettant qu'il faudrait donner aux différentes pièces les mêmes sections.

Mais c'est cette nécessité de conserver aux pièces leur rigidité qui complique la construction des fermes, et qui exige l'emploi d'un poids de matière bien supérieur à celui qui résulterait de ces premières indications. Dans le système de MM. Lehaître et de Mondésir, le tirant est remplacé par les amarres, les arbalétriers par le câble lui-même, et la solidarité de ces diverses parties résulte de ce qu'elles constituent une seule et même pièce.

Le seul tirant qu'ils emploient travaille exclusivement à la traction, et il remplace le tirant habituel qui ne représente parfois que le dixième du poids total de la ferme, comme, par exemple, dans la ferme de 40 mètres de portée que M. Hittorff vient de construire pour la nouvelle gare du chemin de fer du Nord.

En parlant de ce comble, M. Tresca croit qu'il sera intéressant pour la Société d'apprendre que, dans des épreuves auxquelles trois de ces fermes viennent d'être soumises, l'expérience a prouvé que les ingénieurs pouvaient compter absolument sur l'exactitude pratique des formules employées dans les calculs des constructions de ce genre. Seulement la même expérience a démontré que l'influence des contre-fiches secondaires, dans la ferme Polonceau à grande portée, n'est pas aussi grande en réalité qu'elle le serait sans doute si l'on pouvait donner à chacun des tirants la tension la plus convenable.

M. Lehaître présente de nouveau quelques observations en réponse aux objections de M. Trélat, faisant supposer que l'application du système de suspension est limitée par la nécessité de murs de refend ; mais il résulte d'études faites par MM. Lehaître et de Mondésir que cette nécessité n'est pas absolue.

Ainsi, ces messieurs ont étudié un projet de construction pour l'Exposition universelle; l'ensemble de ces constructions se compose d'une immense rotonde au centre, et au pourtour de nefs de portées relativement réduites. Or, dans ce projet, ils n'ont pas jugé les murs de refend nécessaires; les câbles supportant la charpente de la rotonde centrale après s'être infléchis sur le mur circulaire qui la limite, sont conduits le long des arbalétriers en arc qui recouvrent les nefs latérales pour venir s'amarrer dans les murs extérieurs de ces nefs.

M. Lehaître répond à la solution proposée en dernier lieu par M. Trélat, que dans ce système armé, composé d'un arbalétrier en arc sous-tendu par un tirant, le centre de gravité est au-dessus des points d'appui, ce qui rend le système instable et plus sujet aux oscillations ; qu'au contraire dans le système à câble de suspension, le centre de gravité est notablement inférieur au point de suspension, et que par conséquent il y a plus de stabilité. M. Lehaître fait remarquer que dans tous les systèmes de charpente, lorsque le centre de gravité se trouve au-dessous des points d'appui, il y a tendance au voilement des pièces, et que ce voilement a été la cause principale des accidents arrivés aux charpentes à grandes portées, tandis que dans le système suspendu, il ne peut y avoir tendance au voilement.

M. Dallot reconnaît que, dans les fermes Polonceau il y a quelques pertes de métal parce que toutes les pièces ne travaillent pas au même coefficient. Cette observation lui paraît surtout applicable aux contre-fiches ; elle est encore vraie, quoiqu'à un moindre degré, pour les arbalétriers, mais les tirants lui paraissent pouvoir être calculés très-exactement. Il n'y a donc, en définitive, de métal employé en trop que dans les arbalétriers et les contre-fiches. Mais le système proposé par MM. Lehaître et de Mondésir n'est pas, à son avis, affranchi de cet inconvénient. Il ne lui paraît pas pos-

sible de faire travailler uniformément à 6 kil. l'ensemble du système supporté par les câbles, il faut évidemment tenir compte des conditions générales de stabilité inhérentes à tout système complexe, et qu'on ne peut faire entrer dans le calcul.

Il admet avec M. Love que les fers pour câbles sont plus tenaces que ceux qui composent en général les arbalétriers. Mais dans un câble formé par la réunion d'un nombre plus ou moins grand de fils tordus ensemble, tous les brins ne travaillent pas également; il y a donc là une cause de perte qui n'est pas négligeable, il faut donc un surcroît de section pour s'assurer la résistance nécessaire.

L'application des fermes fixes n'est pas d'ailleurs aussi limitée que semblent le faire croire les auteurs du système de suspension; M. Dallot a vu en Angleterre un grand nombre de couvertures à grandes portées, dans les gares de Liverpool, Birmingham, Sheffield et du Dover and Chatham railway à Londres. Le comble de la nouvelle gare du chemin de fer réunissant Charing-Cross à London Bridge, n'a pas moins de 70 mètres de portée; là, les fermes reposent sur des murs très-élevés, relativement minces et sans contre-forts.

Ces fermes sont conçues dans le système de suspension indiqué par M. Trélat; elles se composent d'un arc d'extrados, présentant la section d'un double I et travaillant à la compression, d'un arc d'intrados d'un rayon plus grand, présentant par conséquent moins de flèche, relié au premier sur les points d'appui de la ferme. Cet arc travaille à la traction. L'intervalle entre les deux arcs est rempli par une série de contre-fiches verticales comprimées, et par des croix de Saint-André travaillant à la traction.

On voit que ces fermes sont construites sur le principe de la suspension, mais de la suspension bien appliquée, puisqu'elle n'apporte sur les points d'appui aucune réaction autre que celle due au poids de la charpente, et qu'elle constitue des fermes rigides ayant plus de stabilité qu'on n'en obtiendra jamais avec les câbles.

Il est enfin une cause de destruction des couvertures dont on n'a pas encore parlé, c'est l'action du vent. Les neuf dixièmes des accidents des combles sont dus au vent, dont l'action subite, variable d'intensité et de direction, paraît à M. Dallot très-redoutable pour les câbles à cause de la facilité qu'ils ont d'osciller, et qui lui semble beaucoup moins à craindre pour les fermes anglaises dont la rigidité est très-grande.

M. DE MONDÉSIR demande à répondre quelques mots à l'objection qui vient d'être faite sur les effets du vent. Il dit que le vent n'aura évidemment pas plus d'action sur une charpente suspendue que sur une charpente fixe, et que ses effets ne lui paraissent pas plus à craindre dans un cas que dans l'autre.

L'action du vent, toujours oblique et presque horizontale lorsqu'elle a le plus d'intensité, peut se diviser en deux composantes : une horizontale, l'autre verticale.

La composante horizontale n'est pas à craindre dans le système suspendu à cause de la position du centre de gravité des fermes par rapport à leurs points de suspension.

Il n'en est sans doute pas de même de la composante verticale; cependant, si on se rend compte que dans la ferme, les fers ne travaillent qu'à 6 kil., on voit que le vent devrait plus que doubler cet effort pour qu'il y ait lieu de s'inquiéter de ses effets.

Les études de charpente entreprises par MM. de Mondésir et Lehaître leur ont montré que le poids par mètre carré restait sensiblement constant, quelle que fût la portée; il est d'environ 40 kil., il faudrait donc que le vent exerçât un effort vertical de plus de 40 kil. par mètre pour qu'on pût commencer à craindre quelque chose; cela n'est guère admissible, si on se rappelle que l'effort du vent le plus énergique,

de l'ouragan, ne dépense pas 275 kil., mais qu'alors il est presque horizontal et donne par conséquent une très-faible composante verticale.

M. DE MONDÉSIR examine ensuite l'hypothèse du vent en dessous. — La sous-pression n'est pas à craindre dans un bâtiment fermé. Reste à examiner la question dans un bâtiment ouvert. Puisque le poids de la toiture est d'environ 40 kil. par mètre carré, il faudrait nécessairement une sous-pression un peu supérieure pour enlever la charpente; cela ne lui semble pas probable; en supposant même que cela arrivât, comme il y a toujours dans une couverture des parties moins résistantes, des tambours, des vitrages, il est vraisemblable que le vent se frayerait un passage à travers ces parties produisant des destructions locales; mais l'enlèvement en masse d'une charpente suspendue ne lui paraît pas admissible.

A cet égard, du reste, il ne croit pas les fermes fixes dans de meilleures conditions que les fermes suspendues, et on ne saurait raisonnablement demander à un système nouveau à la fois plus de légèreté et plus de solidité que n'en présentent les anciens.

M. GOSCHLER fait observer que le vent produira des oscillations et que ce sont ces oscillations qu'il y a lieu de redouter.

M. LOVE rappelle que les oscillations ne sont à redouter que lorsqu'elles sont produites par des troupes marchant d'un pas cadencé, que le vent ne peut produire cette espèce d'oscillation. Mais il croit très-possible le soulèvement de la charpente par une pression du vent de bas en haut, et il base son opinion sur le fait de ponts suspendus soulevés de cette manière. Un tablier de pont suspendu est notablement plus lourd qu'une toiture, si le pont est soulevé, on peut bien admettre que la toiture le sera aussi.

M. LEHAÎTRE a lui-même observé le fait indiqué par M. Love au pont suspendu de la Caille qu'il a fait construire. Ce pont a 204 mètres de longueur, les câbles ont 20 mètres de flèche, le tablier est à une hauteur de 119 mètres, il traverse une vallée très-resserrée. Dans un ouragan le centre du tablier a été soulevé, il s'est retourné sens dessus dessous, mais les câbles ne se sont pas brisés, les amarres n'ont éprouvé aucune avarie.

Revenant au système de charpente suspendue, M. Lehaître fait remarquer que les câbles de suspension étant réunis aux arbalétriers aux points où ces pièces se croisent, la partie centrale d'une ferme se compose comme toute poutre armée d'un arbalétrier rigide, d'un arc sous-tendeur et d'un entretoisement composé de pièces verticales comprimées et de croix de Saint-André, il ne peut pas y avoir dans un semblable système d'oscillations capables de le déformer.

En résumé, M. Lehaître est convaincu que le principe de la suspension peut recevoir d'utiles applications aux charpentes, il n'en propose pas l'application universelle, lui-même ne l'emploierait pas dans tous les cas; mais il n'hésiterait pas à le faire pour les grandes portées, parce qu'alors il y trouverait plus d'économie et autant de résistance qu'avec les fermes fixes.

M. DALLOT, revenant sur la question des fermes Polonceau, dit que si on a reconnu par expérience qu'on pouvait, sans changer notablement le travail des pièces, supprimer quelques contre-fiches, cela provient de ce qu'on ne ménage pas assez de moyens de serrages. Il a rarement vu des moyens de règlement ailleurs qu'au tirant inférieur; tous les autres n'en ont presque jamais.

M. TRESCA répond à M. Dallot qu'il n'a pas dit que les contre-fiches fussent inutiles et dussent être supprimées; il s'est borné à dire que ces pièces ne produisaient

pas tous les effets qu'on pouvait en attendre. M. Dallot en donne lui-même la raison, c'est que les tensions de diverses pièces ne sont pas ce qu'elles devraient être. Il faudrait pour que le travail de toutes ces pièces fût régulier, qu'on pût obtenir un serrage théorique, et qu'on pût le faire varier avec les diverses surcharges. Mais ce résultat est impossible à atteindre en pratique, aussi ne peut-on pas éviter que les arbalétriers travaillent à la flexion.

M. Richoux dit qu'il faut de plus empêcher les albalétriers de se voiler, et pour cela multiplier suffisamment les entretoisements.

M. Love émet le vœu que M. Tresca puisse être bientôt libre de rendre compte de l'accident arrivé au comble en fer de la station de Paris du chemin de fer du Nord, ainsi que des expériences qu'il a faites sur les fermes de ce comble; cela est du plus grand intérêt, par le motif que les ingénieurs s'instruisent plus par l'étude des constructions qui croulent que par l'examen de celles qui résistent.

M. le Président joint ses prières à celles de M. Love pour engager M. Tresca et ceux des membres de la Société qui auraient fait, comme M. Richoux, quelques observations sur les causes de l'accident arrivé au comble du chemin de fer du Nord, à venir dans une prochaine séance en entretenir la Société. De semblables discussions ne peuvent être qu'essentiellement utiles aux progrès de l'art de l'ingénieur. Les expériences faites par M. Tresca, et les observations que d'autres membres ont pu recueillir, peuvent fournir les motifs d'une excellente étude, et dans l'avenir éloigner les chances de pareils accidents.

M. Tresca se met à la disposition de la Société pour lui donner, quand le moment sera venu, tous les détails qu'elle pourra désirer sur cette question.

MM. Dieudonné, Lehaître et de Puylaroque ont été reçus Membres sociétaires.

Séance du 19 Mai 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président annonce qu'il a reçu une lettre de M. Ferdinand de Lesseps, président de la Compagnie universelle du canal maritime de Suez, par laquelle il remercie la Société des Ingénieurs civils du concours sympathique qu'elle prête à son œuvre; il joint à cette lettre un exemplaire des réponses aux questions qui ont été posées par MM. les délégués du commerce.

M. Gaudry, ne pouvant assister à la réunion de ce jour, adresse la lettre suivante au sujet du procès-verbal de la séance du 5 mai :

A la page 107 (7e alinéa), M. Lehaître dit que le système appliqué par M. Hittorff, au Panorama de Paris, est emprunté aux armatures de poutre et non aux ponts suspendus. Il y a là erreur.

Il suffit de regarder les calques que j'ai eu l'honneur de présenter pour reconnaître que le système de M. Hittorff est exactement celui des ponts suspendus. Je représen-

terai au besoin le volume qui a déjà été communiqué, et où sont indiquées toutes les pièces en détail, tels que coussinets de glissement, supports articulés, amarre de câble, en un mot toutes pièces constitutives d'une suspension de pont.

M. Hittorff avait même projeté un système singulièrement hardi, dans lequel toute la coupole *en fer* devait s'appuyer sur les câbles *par un seul poinçon central*. Mais les combles en fer étaient encore peu usités, témoin les gares des chemins de fer d'Orléans, de Rouen, de London Bridge, etc., qui sont en bois, quoique postérieures au Panorama.

Je rappelle que mon observation a moins pour but de constater une priorité d'application d'ailleurs certaine, que de prouver par une expérience acquise l'avantage du système proposé par M. Lehaître dans des cas donnés.

M. LE PRÉSIDENT donne communication de la lettre suivante que M. Flachat lui a adressée au sujet du procès-verbal de la dernière séance.

« Je regrette de n'avoir pu assister à la séance où a été discutée l'application de la suspension métallique aux toitures à grandes portées. J'ai lu cette discussion dans le procès-verbal qui m'a été communiqué, et je vous demande la permission d'y revenir.

« L'avantage des grandes portées étant, dans certains cas, unanimement reconnu, le but de la discussion ne me paraît pas d'examiner si, pour les portées ordinaires, le système proposé est préférable à tout autre, mais s'il peut étendre l'emploi des grandes portées avec un avantage décidé sur les systèmes connus.

C'est, à première vue, l'impression que j'ai éprouvée, et qu'un examen attentif a fixée en moi.

Ces avantages sont : une solidité égale obtenue avec un poids moindre de métal ;

Moins de roulement ;

Plus d'homogénéité dans l'ensemble ;

Plus de choix dans les matériaux servant à la couverture ;

Plus de facilité d'obtenir des jours verticaux et de régler l'aérage.

Je vais tâcher de faire ressortir ces avantages en comparant la suspension métallique avec les systèmes connus, dans leurs applications aux toitures établies là où il existe des bâtiments adjacents à de grands espaces couverts, tels que les gares de chemins de fer, les cirques, les théâtres, les expositions, les grands ateliers, etc.

Il n'y a en présence, aujourd'hui, que deux systèmes, le *cintre* et la *ferme* dite *Polonceau*.

Pour les grandes portées, le plein cintre exige une hauteur égale à la demi-largeur de l'espace à couvrir, plus une hauteur de pieds-droits, sous les naissances, qui est elle-même en raison de la portée. Pour cette raison, pour sa hauteur excessive dans les grandes portées, le plein cintre est très-dispendieux.

A côté des grandes applications qui ont été faites en Angleterre, l'unique exemple que nous en voyons en France, celui du Palais de l'Industrie, est le plus satisfaisant. Mais le plein cintre n'admet qu'un seul moyen de couverture, le verre, et dans des conditions telles qu'une pareille solution est inadmissible pour la plupart des cas où le velum ne peut être employé comme palliatif.

Le verre exclusivement employé est très-froid l'hiver, et très-chaud l'été ; c'est un grave inconvénient. Et puis les conditions de détail propres à rendre l'entretien peu dispendieux, la toiture toujours étanche, à empêcher la condensation et la chute de la buée, ne sont pas encore trouvées.

Cet ensemble de difficultés explique pourquoi les ingénieurs reculent généralement devant l'application du plein cintre, et ils auraient reculé d'avantage encore si la ferme Polonceau avait été d'un emploi plus facile pour les grandes portées.

Les limites d'emploi de la ferme Polonceau sont, jusqu'à ce jour, de 40 à 50 mètres.

L'opinion de M. Trélat est qu'elle peut être étendue jusqu'à plus de 80 mètres. C'était mon opinion lorsqu'en collaboration avec lui et M. Molinos, j'ai étudié le projet des Halles Centrales qui m'avait été demandé directement par l'Empereur.

Pour l'intelligence de ce qui va suivre, je remets sur le bureau le dessin de cette étude.

Comme il s'agissait d'un vaste édifice, l'un des plus intéressants et des plus fréquentés de la cité, nous avions recherché dans l'emploi du métal un aspect architectural en rapport avec la destination de la construction.

Comme donnée principale les jours verticaux nous paraissaient indispensables, parce qu'ils sont seuls propres à une bonne direction de la lumière et des courants d'air.

Deux fermes latérales de 40 mètres et une ferme centrale de 83 mètres couvraient une superficie de 29640m². Le dévis était de 4,000,000 fr. pour la toiture seulement, soit 135 fr. par mètre carré.

Nous avons cru atteindre, dans la disposition que je mets sous vos yeux, le maximum de simplicité, par conséquent le maximum d'économie. Je pourrais donc prendre ce projet comme point de comparaison. Mais trop de doutes s'élèvent habituellement sur le succès des dispositions qui n'ont pas été réalisées, pour que cela me soit permis.

C'est ainsi que, dans ce projet, l'inclinaison de la charpente aussi réduite que possible pour n'en pas trop élever le centre de gravité, ne laisse en jours verticaux qu'un tiers de la superficie, ce qui serait insuffisant si les jours latéraux faisaient *défaut*.

C'est encore que la très-faible inclinaison des parties pleines exclut l'ardoise, la tuile, ne convient pas au zinc et exige le fer en feuilles qui, dans une situation presque horizontale, nécessite chaque année une couche de peinture. Ce sont là les inconvénients inhérents au système dont nous avons touché la limite en étendant la ferme Polonceau à une telle portée.

J'aime mieux prendre pour point de départ les toitures du même genre *exécutées*, et je choisis parmi les plus beaux spécimens, parmi ceux où le goût est allié le plus heureusement à l'emploi du métal, le type employé à Dijon, Vaisse et Perrache.

Or, personne ne conseillera d'étendre ce type à une portée double, car dans ce cas tout devient difficile.

La distance des fermes entre elles devant être plus que doublée pour rester proportionnelle à la hauteur de l'ensemble, les fermes prendraient, par chacune de leurs pièces, des proportions colossales qui traverseraient la lumière par mille lignes dont la symétrie ne peut atteindre l'œil régulièrement que par quelques points.

Comparons cependant et dans le cas d'une portée de 80 mètres, une à une, les conditions de la suspension métallique et de la ferme Polonceau.

Dans la ferme Polonceau, la pièce dans laquelle les sections résistantes sont en raison de la distance des assemblages et des points d'application des forces est *l'arbalétrier*.

C'est une poutre dont le poids s'accroît avec sa longueur dans le même rapport que si elle était soutenue par deux points extrêmes.

Mais dans la suspension métallique, l'arbalétrier disparaît, en ce sens qu'il peut être supporté ou soutenus en tous ses points. Il peut même être coupé.

Le versant de 40 mètres peut être partagé en quatre, cinq ou six parties. L'économie de poids est donc patente, et je n'ai plus besoin d'insister sur ce point.

Dans la suspension métallique, le centre de gravité passe par le câble; dans la ferme Polonceau, il est au-dessus de l'entrait. Il y a donc moins de roulement dans le premier système. Cet avantage a été compris.

Dans la suspension métallique, les rangées de jours verticaux, formées par des pannes en treillis, courent sur les câbles en parallélogrammes équidistants et soutiennent les parties pleines couvrant la surface. Ces cadres ainsi composés de pièces verticales et horizontales forment des poutres qui s'étendent longitudinalement et transversalement à divers étages de la toiture au-dessus et au-dessous du centre de gravité. Il est impossible d'imaginer un système plus homogène.

Quant à l'inclinaison des parties pleines servant de couverture; elle est au gré du constructeur, et permet l'emploi des ardoises, des tuiles, du zinc et du fer dans des conditions de conservation que la ferme ordinaire ne comporte pas, même aux 2/5 d'inclinaison.

Enfin, au lieu de distribuer sur le plan incliné de chaque versant, c'est-à-dire sur les arbalétriers et les pannes de la ferme ordinaire, les ouvraux pour les courants d'air, les jours pour la lumière, et les parties de couverture, la suspension métallique permet des changements d'inclinaison; elle se prête aux artifices nécessaires pour combiner le jour, l'aération, l'écoulement des eaux; elle étend, en un mot, le nombre des combinaisons ingénieuses avec lesquelles l'ingénieur peut résoudre les difficultés d'une toiture sans recourir à une hauteur exagérée. Ce que la ferme ordinaire ne peut accomplir que par une grande hauteur, ou par une trop faible inclinaison, la suspension métallique peut le résoudre en restant limitée strictement à la hauteur nécessaire pour développer les jours verticaux.

J'espère avoir démontré par cette comparaison que ce n'est pas sans motifs que les portées au delà de 40 à 50 mètres n'ont guère été dépassées. Les systèmes actuels ne se prêtent pas à des portées plus grandes qu'on ne les établit aujourd'hui. La suspension métallique me paraît, sour ce rapport, un progrès, parce qu'elle recule les limites des portées qu'il est possible d'employer pour couvrir de grands espaces, en favorisant la distribution de la lumière et l'aération.

Il me reste un dernier mot sur les mouvements que l'on a paru craindre dans la suspension métallique.

Le tablier d'un pont suspendu à des câbles peut, sous l'influence du vent, se mouvoir par un balancement oscillatoire.

Ce mouvement a lieu dans le sens perpendiculaire au câble; mais dans la suspension métallique d'une couverture fixée par quatre côtés, ce mouvement est impossible; ce n'est pas là, sans doute, ce que l'on craint.

Des câbles formant une courbe entre deux points d'amarre et soutenant un tablier non rigide lui impriment, sous l'influence d'une pression locale, les ondulations qu'ils subissent eux-mêmes. Je crois que sous le nom d'*oscillations* on entendait ce genre d'*ondulations*. C'est, en effet, un mouvement ondulatoire qui, dans ce cas, se propage aux tabliers des ponts suspendus. Toute la question est de savoir si une toiture composée dans le système décrit ci-dessus, soutenue et suspendue par des câbles, sera susceptible d'un mouvement ondulatoire.

Déjà par le simple artifice d'une poutre tubulaire en bois, suffisamment rigide,

suspendue à des câbles, on parvient à faire passer des trains de chemins de fer, sans propagation sensible d'ondulation. Ce fait seul suffit à la démonstration.

Cependant vers le centre de la portée où les câbles et le tablier se confondent, ils offrent la figure de moindre résistance, et, par conséquent, de plus faibles obstacles à la propagation de l'ondulation ; tandis que dans le système de toiture suspendue, la propagation de l'ondulation partie d'un point ne peut suivre la ligne du câble qui l'a reçue. Elle se répand immédiatement sur les *poutres cadres* qui portent à la fois les vitrines et les surfaces du toit. Ces cadres sont rigides, et l'ondulation, si elle pouvait naître quelque part, s'arrêterait immédiatement à leur contact.

On ne voit donc pas plus, dans ce système, la possibilité d'une *ondulation* que d'une *oscillation*. Nous l'avons dit, c'est un réseau rigide attaché par un grand nombre de points dont aucun ne peut s'abaisser ni s'élever sans éprouver la résistance qui provient de la solidarité de l'ensemble.

Recevez, M. le Président, etc.

M. Malo donne lecture d'une communication relative à un appareil fumivore de M. Palazot. Il rappelle d'abord le décret du 25 janvier dernier prescrivant aux propriétaires de machines à vapeur d'éviter la fumée; cette prescription favorise d'après l'auteur l'intérêt privé tout autant que l'intérêt général, parce que toute disposition fumivore bien conçue doit procurer une notable économie de combustible. C'est donc à l'absence de tout appareil efficace qu'il faudrait attribuer la résistance des industriels aux injonctions répétées de l'administration, et le décret du 25 janvier aurait eu pour objet, en brusquant la situation, de faire naître la fumivorité pratique.

M. Malo, sans passer en revue les diverses inventions proposées pour éviter la fumée et sans chercher à faire aucun rapprochement, décrit seulement celle de M. Palazot, dont les résultats remarquables et surtout l'extrême simplicité l'ont frappé. La conception de l'appareil est élémentaire, son installation est économique et prompte.

En avant de la grille et près de la porte du foyer, M. Palazot ménage un orifice rectangulaire et allongé ayant quelques centimètres de profondeur, et la largeur de la grille elle-même. Cet orifice, qui ne doit jamais être obstrué par le combustible, peut à volonté être tenu ouvert ou fermé au moyen d'un registre. Une voûte en briques, placée au-dessus de l'autel, restreint la section du canal d'échappement de la fumée et par sa forme concave contribue à concentrer sur ce point une chaleur très-intense; tout l'appareil est dans ces deux dispositions. L'air extérieur appelé par le tirage entre par l'orifice, s'introduit dans la chambre du foyer, glisse en lame mince au-dessus du combustible étalé sur la grille et se mélange en passant avec les produits de la combustion; ce mélange en arrivant sous la voûte de l'autel se trouve porté à une température très-élevée, et la combustion du carbone libre s'opère complétement. La fumivorité obtenue, sans être absolument complète, est très-suffisante et semblable à celle des cheminées ordinaires d'appartements.

M. Malo a visité trois appareils installés à la manufacture des tabacs, à la blanchisserie de la Société immobilière et à la Monnaie de Paris. On a produit devant lui des torrents de fumée noire que l'ouverture du registre de l'orifice a fait disparaître en cinq ou six secondes et réduite à l'apparence d'une fumée diaphane légèrement grisâtre et presque incolore. L'auteur n'a pas fait sur la consommation d'expériences comparatives assez rigoureuses pour pouvoir fournir des chiffres et une conclusion qui lui soient propres. Mais la manière dont fonctionne le système et le principe sur

lequel il repose le portent à croire que l'économie doit être sensible. Il rapporte que des essais extrêmement soignés, faits dans les établissements qui viennent d'être cités, ont donné des résultats d'autant plus précieux que rien, en général, n'est plus délicat que de pareilles opérations.

A la manufacture des tabacs, on a trouvé qu'un kilogramme de houille fumeuse de Commentry donnait :

Avec l'appareil Palazot.....	7	kilogr. de vapeur.
Sans l'appareil.....	6,23	—

Ce qui correspond à une économie de combustible de 12 p. 100.

A la machine élévatoire de Bordeaux, on a trouvé 9,32 p. 100.

A la Monnaie de Paris, on a constaté une réduction de consommation de 8 à 12 p. 100.

Quelques autres observations recueillies de côté et d'autre, mais d'une moindre autorité, s'éloignent peu de cette proportion.

Ce qui paraît, en outre, certain et ce que M. Flachat a remarqué à la blanchisserie de Courcelles, c'est que le fumivore Palazot permet d'employer sans désavantage des combustibles de la plus basse qualité. M. Malo donne lecture à ce sujet d'une lettre que lui a adressée M. E. Flachat. Après avoir eu recours au système Palazot pour un premier foyer, M. Flachat l'a fait appliquer à un second. La fumée a complétement disparu. Quant à l'économie, celle du poids n'a pu être constatée à cause des variations du travail et de sa durée. Dès les premiers jours, on a constaté une plus grande facilité de maintenir la pression sans augmentation de consommation. On a pu charger les grilles sur une hauteur de 20 centimètres au lieu de 12; on a pu employer des houilles plus fumeuses et des agglomérés, de sorte que le prix du combustible s'est abaissé sans que le poids se soit accru. On se dispose à étendre l'emploi du système Palazot.

M. Malo termine en rappelant la simplicité du système, son installation facile, rapide et peu coûteuse. Ces conditions lui ont paru des garanties de succès, et c'est à ce titre surtout qu'il a pensé que cette disposition était digne d'intéresser la Société.

M. Jullien fait remarquer l'analogie du système Palazot avec celui de M. de Fontenay. Deux foyers contigus séparés par une cloison tubulaire constituent cette disposition; on charge alternativement des deux côtés. Le gaz provenant du combustible frais répandu sur l'une des grilles traversent cette cloison, portés à une haute température et passent sur le combustible de la seconde grille déjà réduit à l'état de coke. Ce système donnait une certaine fumivorité, mais on a trouvé qu'il diminuait la production; on dépensait aussi plus de combustible; on a renoncé à son emploi.

M. le Président fait observer que la grande dissemblance des résultats obtenus avec les deux systèmes doit faire supposer qu'ils sont eux-mêmes très-différents.

M. Dubied dit que la Société de Mulhouse s'est livrée sur l'appareil Palazot à des expériences très-minutieuses, et qu'en comparant avec soin la consommation d'un même foyer établi dans de bonnes conditions, avant et après l'établissement de la disposition, on a constaté que la consommation ne variait pas sensiblement.

M. Richoux fait remarquer que les seuls changements indiqués par M. E. Flachat, dans la hauteur du feu et dans la nature du combustible, suffiraient seuls à expliquer une diminution de consommation sans faire intervenir en rien l'appareil fumivore lui-même.

M. le Président distingue dans la lettre de M. Flachat deux faits indépendants : avec un même combustible l'appareil a procuré la fumivorité sans accroissement constaté de consommation; on a pu, de plus, employer un combustible plus avantageux et réaliser par là une économie d'argent.

M. M. Loiseau pense que la question qui vient d'être soulevée par M. Léon Malo doit être divisée en deux parties distinctes :

1° Le foyer de M. Palazot est-il fumivore ?

2° d° d° économique ?

Or, en ce qui concerne la fumivorité, on s'accorde assez généralement à dire qu'elle est loin d'être toujours complète malgré les assertions contraires de quelques savants.

Cependant; les ingénieurs et les industriels qui se sont occupés de cette question, savent parfaitement qu'avec les idées actuelles, il est possible de construire des foyers fumivores : ils savent aussi à quel prix.

Si M. Palazot est arrivé à ne produire aucune fumée, cela ne peut être qu'en employant de grands excès d'air, et, par suite, en perdant une quantité considérable de chaleur. C'est ce qui est arrivé, sans doute dans une manufacture importante où il fut, dit-on, impossible de mettre la chaudière en pression, bien que M. Palazot lui-même, ait rempli, en désespoir de cause, le rôle de chauffeur.

M. Loiseau regrette que ces derniers renseignements n'aient pas été donnés par M. Boivin, de qui il les tient, ils eussent été exposés plus complétement.

Quant à la partie économique, les expériences qui ont été faites par la Société industrielle de Mulhouse, le soin et la précision qu'elle apporte dans ces sortes d'expérience, sont assez connus pour qu'on puisse les faire intervenir, comme argument, dans la discussion.

Or, les résultats obtenus par cette Société conduisent à ces conclusions que le foyer de M. Palazot donne lieu à *une perte sensible de* 4, 6 à 6, 5 pour 100 lorsqu'on *emploie des chaudières sans réchauffeurs*; tandis que par l'emploi de générateurs à *réchauffeurs à très-grandes surfaces*, il *peut* y avoir une économie de 2 à 3, 8 pour 100. Ainsi pour produire *peut-être* une faible économie, le foyer de M. Palazot doit être adapté à des générateurs particuliers. Voilà où conduit déjà sa simplité si vantée.

Répondant à un passage du mémoire de M. Léon Malo où il signale une économie notable de combustible par l'emploi du fumivore Palazot; ce fumivore aurait pu faire produire 7 kilog. de vapeur par kilog. de houille.

M. Loiseau, *sans nier ce résultat*, doute au moins qu'il ait été obtenu avec des chaudières ordinaires. Ce n'est pas que ce chiffre de 7 kilog. soit exagéré, car on le dépasse à la raffinerie de M. Sommier. Mais chez M. Sommier on n'emploie aucun des fumivores connus, et, par suite, on ne chauffe pas inutilement de grands excès d'air.

Cependant les cheminées ne fument pas plus que la grande cheminée de la Monnaie, où le système Palazot est en vénération. En un mot, les foyers, chez M. Sommier, comme tous les foyers ordinaires biens construits, donnent une économie notable sur le système Palazot.

M. Jullien dit qu'on obtient aussi la fumivorité en alimentant le foyer de la quantité d'air nécessaire à l'aide d'un ventilateur.

M. Malo fait remarquer de nouveau la grande simplicité du système Palazot, que n'obtiennent pas les autres inventions fumivores, que l'emploi du ventilateur ne réalise pas non plus.

M. de Mastaing pense que le ventilateur ne doit pas donner toujours des résultats

satisfaisants. Dans les générateurs tubulaires, on a remarqué qu'il était très-important d'éviter l'extinction des gaz chauds par leur introduction prématurée dans le faisceau refrigérant des tubes à fumée. Il faut pour cela ménager à la flamme un parcours suffisant de la grille à la plaque tubulaire. On a obtenu une amélioration notable dans certaines chaudières en augmentant ainsi les dimensions de la chambre de combustion, et parmi les appareils expérimentés par les soins de la Société industrielle de Mulhouse, plusieurs générateurs tubulaires ont dû leur succès à cette disposition. Il y a donc bien des cas où l'application d'un ventilateur ne procurera aucun avantage.

D'ailleurs les ordonnances administratives ne prescrivent que la fumivorité et ne s'occupent nullement de l'économie du combustible. Les essais de la Société de Mulhouse ont montré que l'économie n'était nullement favorisée par une combustion complète, dans les chaudières où le parcours n'est pas suffisant pour son complet refroidissement.

M. Rouyer, en réponse à la lettre de M. Malo, demande que l'on substitue à la rédaction du procès-verbal de la séance du 19 mai, qui ne rend pas bien ce qu'il a dit, la rédaction suivante :

M. Rouyer dit qu'on peut, en effet, à la Blanchisserie et à la Monnaie, s'assurer de la fumivorité de l'appareil Palazot. Mais, dans ces deux établissements, les chauffeurs insistent beaucoup sur l'importance qu'il y a à fermer la prise d'air une ou deux minutes environ après le chargement, alors que la fumée a disparu; car sans cette précaution il serait très-difficile de monter la pression.

M. Rouyer conclut de là que la conduite de cet appareil exigeant beaucoup d'attention de la part du chauffeur, il est inutile de l'employer, car chacun sait qu'un bon chauffeur peut obtenir une semblable fumivorité, simplement en prenant soin, lorsqu'il charge, de pousser le coke au fond de la grille et mettre le charbon neuf sur l'avant. Ce résultat sera certainement obtenu si à ces soins on ajoute celui de fermer le registre pendant que la porte du foyer est ouverte.

M. Péligot demande quelle est à peu près la distance de l'autel à l'intrados de la voûte, et combien de temps cette voûte résiste au service.

M. Malo répond que la voûte restreint à peu près au deux tiers la section de passage des gaz, et qu'il est à sa connaissance qu'une semblable voûte a duré depuis deux années sans être détruite. Il cite un appareil Palazot établi depuis quatre ans à Bordeaux.

M. Péligot est étonné de ce résultat, car il a vu dans des appareils de ce genre l'autel se détruire très rapidement.

M. de Mastaig pense que le dispositif de M. Palazot doit maintenir la flamme plus longtemps écartée du bouilleur, et procurer ainsi une certaine économie.

M. Fournetron fait remarquer que le rapport fort intéressant de M. Malo ne renferme pas de chiffres affirmés directement par l'auteur, qu'il ne décrit pas la disposition des foyers avant et après l'application du système. C'est souvent à des modifications indépendantes du système à expérimenter qu'il faut attribuer les économies constatées dans bien des essais comparatifs de ce genre. On ne peut donc, faute de ces éléments, ouvrir sur ce rapport qu'une sorte de conversation et non pas une discussion sérieuse. La Société de Mulhouse, appelée à expérimenter l'invention de M. Palazot, a su se mettre à l'abri de ces causes d'incertitude et d'erreur. Son rapport, qui ne peut être ignoré des membres de notre Société, renferme les indications les plus précises sur tous les points qui peuvent influer sur les résultats de l'essai.

tout mesuré avec soin : le volume et la température de l'air consommé, la consommation de charbon dans les périodes successives de l'expérience, la production de vapeur correspondante, et le rapport si remarquable à tous égards de la Société de Mulhouse, qui cite aussi les résultats étranges qui lui ont été communiqués, se termine par des conclusions toutes différentes de celles de M. Malo. M. Fourneyron pense donc qu'il serait fâcheux que la Société, sans tenir compte de ce travail si complet, portât un jugement favorable sur l'invention en question, et pût paraître dans une certaine mesure la prendre sous son patronage. Il serait préférable qu'une commission fût nommée qui étudierait le rapport de la Société de Mulhouse, et pourrait alors présenter à la Société une opinion mieux motivée sur l'appareil Palazot.

M. LE PRÉSIDENT croit répondre au vœu de M. Fourneyron en priant les membres que la question intéresse de consulter les mémoires de la Société de Mulhouse, et de prendre part dans la prochaine séance à une discussion plus sérieuse, après que M. Malo aura pu ajouter à sa communication les indications et les dessins qu'il jugera utiles pour remplir les lacunes qui viennent d'être signalées.

M. Nozo partage complétement l'avis de M. Fourneyron. Ce n'est pas sur l'exposé d'expériences aussi incomplètes que la Société pourrait se former une opinion sur le mérite de l'appareil. Il a eu occasion de voir combien de simples modifications de formes dans les fourneaux de chaudières pouvaient en améliorer les résultats. Au chemin de fer du Nord, un fourneau établi d'après les dessins de la maison Cail a été, d'après les indications de M. Cavé, modifié de façon à loger les deux bouilleurs et le bas du corps de chaudière dans une même chambre en briques, dont la fumée sortait à l'arrière par une ouverture inférieure de section convenable. Ce changement a produit une notable économie dans la consommation de combustible.

M. RICHOUX cite d'autres exemples ou le simple changement dans la largeur et l'espacement des barreaux de la grille a suffi pour procurer de l'économie. Il est donc essentiel de bien décrire le fourneau avant et après l'application du système dont on veut étudier les effets.

UN MEMBRE fait remarquer que divers systèmes, plus ou moins anciens déjà, permettent de brûler fort bien la fumée ; tout le monde est sans doute d'accord là-dessus. Il est vrai que l'économie produite, quand il y a économie, est en pratique moyennement faible, et paraît désormais moins importante que les avantages obtenus au point de vue de la salubrité publique. Mais cela n'empêche évidemment pas, loin de là, d'adopter les appareils, les systèmes fumivores, dont l'industrie ne pourrait raisonnablement rejeter l'emploi lors même qu'il devrait entraîner régulièrement un *léger* surcroît de dépenses (chose qui heureusement n'a pas lieu) ; aussi remarque-t-on que le motif, le prétexte allégué généralement par les industriels pour ne pas brûler leur fumée, c'est la difficulté de réaliser ce progrès, même médiocrement ; or, en présence du système Palazot, ce prétexte n'est plus guère admissible.

Par suite, c'est surtout sous ce rapport que la vulgarisation du système Palazot est opportune (comme celle d'autres systèmes non compliqués) ; c'est là une bonne arme de plus contre la routine, et c'est probablement à une telle pensée qu'est due la communication de M. Malo, laquelle, eu égard à ce qui vient d'être dit, est peut-être de nature à devenir au moins aussi favorable à la fumivorité en général qu'au système Palazot en particulier.

M. MALO répondant aux diverses objections qui lui ont été faites, dit qu'il n'a nullement cherché pour cette invention le patronage de la Société, qu'il a seulement eu occasion de voir un appareil brûlant la fumée d'une façon très-simple, avec économie,

et qu'en raison de l'intérêt d'actualité de cette question, il a pensé qu'on s'occuperait volontiers d'examiner cette invention. Dans tous les cas, un appareil simple qui permet d'employer sans inconvénient un mauvais combustible au lieu d'un bon, n'est pas sans mérite.

M. Fourneyron insiste sur ses observations. Le rapport aurait dû décrire les foyers avant et après l'application du système, expliquer les soins que le chauffeur apporte dans l'un ou l'autre cas à la conduite du feu. Chacun sait qu'en introduisant quelques améliorations sur ces points, on réussit souvent à éviter la fumée sans le secours d'aucun appareil.

M. le Président conclut en engageant M. Malo à compléter son travail s'il désire appeler sur le système Palazot une discussion plus complète.

M. Goshler fait observer qu'en aucun cas la Société ne peut être responsable des opinions d'aucun de ses membres. C'est une disposition du règlement.

La parole est ensuite donnée à *M. Jullien* pour lire la fin de son mémoire concernant les *fontes* et *aciers*.

Quant on recuit, entre quatre murs, à la façon du *platre*, des laitiers de forge anglaise, ils se comportent comme le bronze chauffé au rouge, c'est-à-dire se séparent en deux parties dont l'une, infusible à la température du recuit, s'emploie avantageusement dans le puddlage comme décarburant de la fonte et dont l'autre, fusible, s'écoule sur le sol.

Si, après le défournement, on examine attentivement cette seconde partie, on remarque qu'elle renferme, elle-même, deux composés parfaitement distincts, savoir :

1° Un verre plus ou moins foncé en couleur ;

2° Des cristaux vert-olive, octaédriques, à bases triangulaires parallèles et surbaissées.

Or, quand on met ces cristaux en fusion dans un creuset, ils deviennent très-fluides, coulent comme de l'eau, et se reforment instantanément, en se solidifiant sous l'influence d'un refroidissement brusque.

Si, quand le composé est liquide, on y ajoute soit un excès de silice, soit un excès d'oxyde de fer, il devient visqueux ; mais, surchauffé, il devient fluide, et, coulé sur une plaque métallique froide, il donne un verre sans apparence extérieure de cristaux.

M. Mitscherlich, qui a analysé les cristaux susmentionnés, les a trouvés composés de :

Silice	31.46
Protoxyde de fer	67.24
Magnésie	0.65
	99.05

M. Dumas dit, à cette occasion (*Traité de Chimie appliquée aux arts*, tome III, page 434) :

Un atome silice	492.6	30.5
Un atome protoxyde	439.0	69.5
	631.6	100.0

« C'est, donc, un silicate neutre. »

Ainsi, le composé de 30 silice et 70 protoxyde de fer, pris liquide et refroidi brusquement, donne un composé solide cristallisé. Dès qu'on y ajoute un excès quelconque d'acide ou de base, il donne un verre, c'est-à-dire un composé solide dans lequel les cristaux sont dissimulés par l'excès de composant ajouté. Il est, donc, incontestable que les cristaux isolés sont une combinaison ; il est, de plus, certain que *M. Dumas* dit vrai quand il qualifie le composé de silicate neutre, puisque quand on ajoute un excès d'acide ou de base, on obtient toujours un verre.

Mais, alors, qu'est le verre?

Le verre liquide, refroidi brusquement, est comme la fonte blanche, un composé homogène qui n'a pas eu le temps de se décomposer en se solidifiant.

Le verre liquide, refroidi lentement, ou pris froid et recuit longtemps, se convertit, comme la fonte liquide refroidie lentement, en un véritable mélange.

Y aurait-il analogie entre les deux composés?

Berzélius dit (*Traité de Chimie*, tome III, page 153) :

« Il est difficile d'admettre que les différentes sortes de verre soient des combi-
« naisons définies ; on doit les considérer comme des dissolutions solidifiées dont les
« principes constituants, à l'état liquide, peuvent varier de plusieurs manières, et
« dans lesquels l'acide silicique contient, en général, 15 à 18 fois autant d'oxygène
« que la base vitrifiée avec lui. »

M. Jullien pense que, à cette explication peu lucide, on doit substituer la suivante :

Le verre liquide est une dissolution, dans un silicate neutre, d'un excès de l'un de ses composants.

Si on le refroidit *brusquement*, le silicate neutre *cristallise* instantanément, en se solidifiant, et retient, à l'état de dissolution et *amorphe*, l'excès de composant *dissous*.

Si *on le* refroidit *lentement*, ou recuit le verre froid, le silicate neutre passe à l'état *amorphe*, en se solidifiant, et rejette, comme le fer de la fonte liquide refroidie lentement, la proportion de composant dissous qu'il ne peut retenir solide.

De là l'explication de la trempe du verre.

Le verre liquide, refroidi brusquement, est une *dissolution, dans un silicate neutre cristallisé, d'un petit excès de l'un de ses composants amorphe.*

Le verre liquide, refroidi lentement, dit céramisé, est un *mélange de silicate neutre amorphe et d'un excès de l'un de ses composants, amorphe aussi.*

Le verre céramisé et recuit très-longtemps est un *mélange de silicate neutre amorphe et d'un excès de l'un de ses composants cristallisé.*

Il y a donc analogie complète entre les verres et les fontes ; la seule différence qui existe c'est que dans les fontes, c'est le dissolvant qui cristallise par anéantissement du pouvoir émissif, tandis que, dans les verres, c'est le composant dissous.

Le *verre à vitres* est un type de dissolution, dans un silicate neutre, d'un excès d'acide ; le *verre à bouteilles*, au contraire, est un type de dissolution, dans un silicate neutre, d'un excès de base. En d'autres termes : Le verre à vitre est un verre *acide* ; le verre à bouteilles est un verre *basique*.

Passant du verre aux roches ignées, M. Jullien fait remarquer que, du moment où il y a eu fusion préalable, l'identité de ces composés avec les verres n'a pas besoin d'être démontrée.

Quand la lave liquide, sortant du volcan, est projetée dans la mer, elle constitue

un véritable *verre*, c'est-à-dire une dissolution, dans un silicate neutre cristallisé, d'un excès de l'un de ses composants amorphe.

Quand la lave se refroidit lentement à la surface du sol, elle constitue une ***poterie friable***, c'est-à-dire un mélange de silicate neutre amorphe et d'un excès de l'un de ses composants amorphe aussi.

Quand la lave se refroidit très-lentement par suite de sa grande épaisseur, elle constitue le ***granit***, c'est-à-dire un mélange de silicate neutre amorphe et l'un excès de l'un de ses composants cristallisé.

Il y a donc identité complète entre les fontes et aciers d'une part, et les verres et roches d'autre part. Le seul point par lequel ces deux espèces de composés peuvent être considérés comme différents, c'est que, dans les fontes et aciers, c'est le dissolvant qui cristallise par anéantissement du pouvoir émissif, et le corps dissous qui cristallise par exaltation dudit pouvoir, tandis que dans les verres et roches ignées, c'est le corps dissous qui cristallise par anéantissement du pouvoir émissif et le dissolvant qui cristallise par exaltation dudit pouvoir.

Les expériences de *Gaudin* (***Berzélius***, tome I^er^, page 633) confirment cette manière de voir pour la silice. Les faits cités au commencement la confirment pour le silicate neutre.

Le ***silex*** est de la silice ***amorphe***; le ***quartz*** est de la silice ***cristalliée***; les puddings silicieux d'***Huy*** (Belgique) sont des mélanges de silex et de quartz prevenant de deux séries d'éruptions volcaniques, entre lesquelles il y a eu un soulèvement du sol qui a mis à sec ce qui était primitivement sous l'eau.

En outre, du moment où il démontre, physiquement, que les cristaux analysés par M. Mitscherlich sont nécessairement une combinaison, ***M. Jullien*** ne comprend pas qu'on puisse admettre d'autre équivalent du silicium que celui adopté par M. Dumas.

En effet, il y a, aujourd'hui, quatre formules pour la silice, savoir :

			Équivalents du silicium.
Si. O	correspondant à	.....	92.6
Si. O^2	—	.....	2×92.6
Si. O^3	—	(Berzélius).....	3×92.6
Si. O^4	—	—	4×92.6

D'où résulte que, pour composer un silicate de protoxyde de fer, il faut ajouter autant d'équivalents de protoxyde de fer qu'il y a d'équivalents d'oxygène dans la formule de l'acide, car il faut toujours arriver à 30° acide sur 70° de base.

Or, le mot : ***équivalent***, signifie proportions équivalentes de composants qui se saturent. Comme pour saturer un équivalent de protoxyde fer, il faut un équivalent d'acide sulfurique, d'acide chlorhydrique, d'acide carbonique pur, il est inconcevable qu'il faille, pour saturer un équivalent de silice, 2, 3 et 4 équivalents de protoxyde.

L'équivalent rationnel de la silice est celui qui sature, comme les autres acides, un équivalent de protoxyde de fer.

Les cristaux octaédriques ne pouvant pas ne pas être une combinaison, l'équivalent de M. Dumas est le seul bon.

Passant du verre aux poteries, M. Jullien dit : Si, au lieu d'un petit excès d'acide ou de base, on ajoute au silicate neutre liquide, 20 ou 30 fois son poids de l'un de ses composants, les rôles changent et, alors, c'est le silicate neutre qui se trouve à l'état de dissolution dans un grand excès de l'un de ses composants. Si ce compo-

posant est la silice, on obtient une poterie de grès; si ce composant est la base, on obtient une porcelaine. En effet, que faut-il pour composer une poterie de grès? Cuire une pâte composée de sable siliceux et d'un carbonate en petite proportion. Que faut-il pour constituer la porcelaine dure? Mélanger une petite proportion de feldspath au kaolin, c'est-à-dire au silicate infusible d'alumine.

Dans ce dernier cas, comme la couverte est de même composition que le ciment de la pâte, il suffit de constater qu'il y a eu fusion de la couverte pour être certain que le ciment du verre dissous a fondu, c'est-à-dire que la poterie est cuite.

L'explication de la trempe du verre sert également à expliquer les difficultés de la cuisson des porcelaines dures. En effet, dès que le feldspath constituant la couverte est fondu, si on veut l'obtenir glacé, c'est à dire vitrifié, il faut le refroidir brusquement; mais quand on refroidit brusquement la poterie, le silicate neutre servant de ciment cristallise instantanément, et ne se prête pas à la contraction que produit le refroidissement dans le silicate d'alumine amorphe. Il arrive alors que la poterie éclate ou est prête à éclater au moindre choc, comme la larme batavique.

Les fabricants se trouvent donc pris entre ces deux dilemmes, savoir : ou refroidir très-vite pour avoir une couverte glacée et livrer au commerce une porcelaine fragile, ou refroidir lentement pour avoir une poterie tenace et livrer au commerce une couverte terne. Qu'arrive-t-il? C'est que, à Sèvres, où on fabrique pour la maison de l'Empereur, on sacrifie la beauté de la couverte à la solidité de la poterie, en refroidissant lentement, parce que, avant tout, on veut livrer de la bonne marchandise. Dans les fabriques de porcelaine, au contraire, on sacrifie la solidité de la poterie à la beauté de la couverte, parce que c'est ce que, avant tout, le commerce réclame. Voilà pourquoi, en général, les couvertes des porcelaines du commerce sont plus glacées que celles des porcelaines de Sèvres.

Quand la température est assez élevée pour mettre en fusion une poterie, on obtient un verre liquide dans lequel les rôles sont intervertis en ce sens que, comme dans la fonte de fer, c'est alors le dissolvant qui cristallise par refroidissement lent et le corps dissous qui cristallise par refroidissement brusque.

Soit, par exemple la poterie de *grès*. Si on la met en fusion, on obtient une dissolution *liquide* d'un *silicate neutre* dans un grand excès de *silice*. Si on refroidit le composé brusquement, il devient une dissolution de *silicate neutre cristallisé* dans un excès de *silice amorphe*. Si, au contraire, on le refroidit très-lentement, il devient un mélange de *silicate neutre amorphe* et d'un grand excès de *silice cristallisée*. Si, dans ce dernier cas, le silicate neutre est du *mica*, on obtient le granit de l'île de *Chausey*, près Jersey.

Ainsi, il y a quatre espèces de roches ignées, savoir :

Les roches résultant d'un silicate neutre liquide tenant en dissolution un petit excès de l'un de ses composants, et donnant :

1° Par refroidissement brusque un verre rayé par la silice;

2° Par refroidissement lent, un granit tendre :

Les roches résultant d'un silicate neutre en dissolution dans un grand excès de l'un de ses composants liquide et donnant :

3° Par refroidissement brusque, un verre rayé par le diamant;

4° Par refroidissement lent, un granit dur (du moins quand l'excès de composant est la silice).

Résumé.

La dissolution n'est pas un composé nécessairement liquide, c'est un état chimique des corps, autre que la combinaison, qui peut, comme elle, affecter les trois états physiques.

Il y a donc eu omission dans la nomenclature, et c'est pour cela que, d'une part, depuis 85 ans on n'a pu expliquer l'acier, la fonte, le verre, les roches ignées, les poteries, le bronze mou, le deutoxyde de fer, le pourpre de cassius, etc.; d'autre part, on a vu des combinaisons dans les alliages, l'absorption des gaz par les corps poreux, les hydrates solides, etc.

Séance du 2 Juin 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante qu'il a reçue de M. Léon Malo :

M. le Président,

Obligé de quitter Paris avant la séance de vendredi prochain, 2 juin, je ne pourrai, à mon grand regret, assister à la discussion qu'annonce l'ordre du jour sur le fumivore Palazot. Ma présence n'est pas d'ailleurs nécessaire à cette discussion, qui portera sans doute non pas sur un appareil particulier, mais sur la fumivorité en général, et pour laquelle ma communication n'est qu'un élément de plus. Le petit modèle en relief qui est déposé à la Société suffira probablement pour compléter ce que, en l'absence de tout dessin, ma note pourrait avoir d'obscur.

En lisant le procès-verbal de la dernière séance, je m'aperçois que les observations de plusieurs de nos collègues m'ont échappé au moment où elles ont été faites; je viens vous demander la permission d'y répondre.

M. Richoux assure que « les seuls changements indiqués par M. Flachat dans la « hauteur du feu et dans la nature du combustible suffiraient à expliquer une dimi« nution de consommation sans faire intervenir en rien l'appareil fumivore lui« même. »

Je regrette de n'avoir pas entendu ou compris sur le moment l'observation de M. Richoux; j'aurais été heureux d'apprendre de lui comment en brûlant dans un foyer ordinaire du menu au lieu de houille choisie et en chargeant la grille à 20 ou 25 centimètres d'épaisseur au lieu de 15 ou 16, on parvient, tout en produisant la même quantité de vapeur, à réaliser une économie de combustible en même temps qu'une fumivorité complète.

Je remarque aussi dans le procès-verbal une phrase de M. Rouyer qui me fait dire que dans le fonctionnement de l'appareil Palazot « on ferme la prise d'air une ou deux minutes après le chargement. » M. Rouyer en conclut que le chauffeur est obligé à de fréquentes manœuvres qui compliquent sa besogne. M. Rouyer confond sans doute la pratique ordinaire de l'appareil avec les essais que j'ai faits moi-même pour m'assurer de sa fumivorité. La vérité est que le chauffeur laisse la prise d'air presque constamment ouverte; c'est seulement lorsque le feu est très-intense que, la production du noir de fumée étant nulle à peu près, il ferme son registre pour éviter une admission d'air froid.

Enfin, plusieurs membres ont opposé aux chiffres que j'ai avancés d'autres chiffres obtenus par la Société industrielle de Mulhouse sur l'appareil Palazot; je n'ai pas suivi le détail des expériences de la Société de Mulhouse, mais j'en connaissais les résultats; je savais qu'on avait trouvé tantôt une économie, tantôt une perte de combustible; j'étais donc fondé à juger ces essais insuffisants, et je n'avais pas cru devoir en parler. Au contraire, les expériences faites à Paris à la Manufacture des tabacs par M. de Mondésir, et à Bordeaux à la machine de la distribution d'eau par M. Linder, ont fourni une série de chiffres identiques, et qui ne peuvent laisser aucun doute dans l'esprit. J'ai l'honneur de vous remettre ci-joint une copie des rapports de ces deux ingénieurs.

Je vois encore au procès-verbal que M. Fourneyron me reproche de n'avoir pas apporté « des chiffres directement *affirmés par moi.* » Je ne pense pas qu'il soit nécessaire, pour faire une communication sur un objet, d'avoir expérimenté soi-même cet objet; il me suffit, quant à moi, que des résultats d'expériences soient obtenus et affirmés par des hommes honorables et compétents pour que je les trouve aussi bons à servir de base à une discussion que si je les avais obtenus moi-même.

M. Nozo juge *incomplètes* les expériences que j'ai citées; il m'invite à les *compléter.*

En ce qui concerne les expériences de MM. Linder et de Mondésir, elles sont aussi complètes qu'il est permis de le désirer; la Société pourra s'en assurer par la lecture de leurs rapports.

Absolument étranger à l'appareil de M. Palazot, je ne lui porte d'autre intérêt que celui qui peut s'attacher à toute question d'actualité, et l'étude que j'en ai faite m'a démontré que cet appareil n'a besoin pour réussir du *patronage* de personne.

Veuillez agréer, M. le Président, etc.

M. Fourneyron, en faisant simplement *remarquer* que le rapport de M. Malo ne renferme pas de chiffres affirmés directement par l'auteur, a voulu seulement établir que l'auteur n'avait point fait d'expériences qui ajoutassent rien aux résultats mentionnés dans les rapports invoqués par lui, résultats que M. Palazot n'avait laissé ignorer à personne et que la Société industrielle de Mulhouse a connus avant même de faire ses expériences.

M. Fourneyron n'a pas eu d'autre intention et il est aussi de l'avis que si les chiffres obtenus par les hommes honorables dont parle la note de M. Malo l'avaient été par une expérimentation aussi complète et rigoureuse que celle de la Société de Mulhouse, ils mériteraient la même confiance. Mais on ne saurait prétendre avec les documents invoqués qu'il en a pu être ainsi.

M. Lencauchez écrit pour exprimer ses regrets de n'avoir pu assister à la dernière séance pour appuyer l'opinion de M. de Mastaing dans la discussion sur l'appareil

fumivore de M. Palazot. Ce n'est que pour les générateurs tubulaires brûlant des houilles grasses qu'il y a intérêt à s'occuper de trouver des moyens de bonne et économique combustion, car avec un foyer métallique on n'est pas toujours maître de disposer de l'espace; aussi M. de Mastaing, qui exploite depuis longtemps la chaudière tubulaire de MM. Molinos et Pronnier, sait-il à quoi s'en tenir de ce côté.

Pour ce qui est des générateurs à bouilleurs, montés sur des massifs en brique, M. Lencauchez déclare que tout foyer bien fait est fumivore, non d'une fumivorité absolue, mais d'une fumivorité pratique.

Ne peut-on pas, avec de tels générateurs, avoir des foyers qui possèdent les qualités d'une bonne lampe Carcel ou modérateur? En effet, sans cheminée (c'est-à-dire sans tirage), la lampe donne de la fumée; si la distillation d'huile est trop considérable, malgré un bon tirage, il y a encore de la fumée, et si enfin il passe trop d'air, il se produit encore de la fumée par un refroidissement trop rapide; or, rendre une lampe fumivore est une affaire de rien avec une crémaillère règlant la hauteur de la mèche (c'est-à-dire la distillation). Il en est de même pour un générateur à foyer en maçonnerie, si celui-ci a un tirage suffisant, si la surface de grille est telle que la couche de combustible gras ne dépasse pas $0^m,080$ mill. Si les gaz sont complétement brûlés dans la chambre de combustion avant d'atteindre les parois réfrigérantes, on obtient toujours un foyer fumivore simple à conduire; le registre de la cheminée est son régulateur, et tout est dit et obtenu dans des conditions économiques.

M. Dubied dépose sur le bureau un exemplaire d'un rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse sur le concours ouvert par elle pour la meilleure chaudière à vapeur. En présence de la discussion qui vient d'avoir lieu, M. Dubied a pensé que les documents réunis dans ce rapport pouvaient intéresser les membres de la société, qui n'auront plus à les rechercher dans les différents numéros du Bulletin de la Société de Mulhouse.

M. le Secrétaire donne ensuite lecture de la note suivante de M. l'abbé Paramelle sur les terrains mouvants.

Dans une infinité d'endroits, les routes et les chemins de fer traversent des dépôts d'argile en mouvement qui en dérangent ou en interrompent fréquemment la continuité. Quelques-uns de ces dépôts glissent peu à peu et d'autres subitement; tantôt ils recouvrent simplement la route et l'on est obligé de la déblayer, d'autres fois, ils la transportent avec l'empierrement à plusieurs mètres au-dessous. Si la route n'est pas descendue trop bas, on pratique de chaque côté du terrain mouvant une avenue provisoire pour aller joindre la partie de la route descendue; mais lorsque cette partie est descendue trop bas, on est obligé de la refaire à neuf sur le terrain mouvant qui l'entraîne bientôt de nouveau. Les moyens qu'on a essayés jusqu'ici pour arrêter ces avalanches de terrain ont presque tous échoué, et lors des grandes pluies, ils ont été entraînés par le terrain mouvant sans avoir opposé la moindre résistance.

A la vue des frais énormes que les réparations de ces descentes de terrain coûtent tous les ans et des dangers qu'elles font courir aux voyageurs, dans ses nombreuses pérégrinations, M. l'abbé Paramelle s'est souvent demandé s'il ne serait pas possible de trouver un moyen efficace pour arrêter ces terrains mouvants. A force d'y réfléchir, il croit en avoir trouvé un qui lui paraît propre à atteindre le but désiré. Le voici dans toute sa simplicité :

L'espèce de terrain la plus sujette aux glissements est l'argile que les géologues ont nommée *argile Walérius*. Cette argile se trouve non-seulement dans les pentes de-

grandes montagnes, mais encore sur les pentes des plus humbles coteaux; elle repose sur une roche à surface unie, assez fortement inclinée et dont l'inclinaison concorde avec la surface du terrain mouvant; elle a, comme toutes les argiles, la propriété de se gonfler lorsqu'elle est mouillée, et de se contracter à mesure qu'elle se dessèche. Lors des grandes pluies, elle s'imbibe d'eau, augmente considérablement de poids et de volume; toute la surface de la roche qui la supporte étant mouillée, on voit apparaître à différents points et à différentes hauteurs des crevasses peu larges, peu profondes, et de forme tantôt circulaire et tantôt carrée, qui marquent la séparation de chaque masse qui s'est mise en mouvement. Celles de ces petites avalanches qui sont les plus hautes poussent les suivantes en aval; celles-ci poussent à leur tour celles qui leur sont inférieures, et ainsi de suite jusqu'au bas de la pente; sur différents points, il se forme des mamelons ou protubérances plus ou moins élevés. La marche de ce terrain est fort inégale : dans certains coteaux, il ne descend que de quelques décimètres tous les ans; dans d'autres, certaines parties marchent temporairement et s'arrêtent ensuite pendant des siècles; mais si, pour construire une route, on vient à saper, ou si un cours d'eau vient à corroder la base de cette masse mouvante, on la voit parfois, lors des premières fortes pluies, descendre intégralement ou par masses séparées, entraîner la route qu'elle supporte et se répandre dans la plaine. La pente de ces terrains mouvants est d'environ *quarante-cinq* degrés; dans les pentes qui sont considérablement plus rapides, les avalanches ont cessé depuis longtemps parce que le terrain mouvant est épuisé, et dans celles qui sont notablement moins rapides l'argile Walérius a toujours été et est encore immobile. La plupart de ces avalanches ont 10 à 30 mètres de largeur, quelques-unes en ont une centaine et très-rarement davantage; leur épaisseur ordinaire, dans les endroits où elles ne se sont point entassées, est de 1 à 4 mètres.

Afin d'arrêter ces avalanches, on a jusqu'ici construit des murs en travers; les uns sont en entier sur le terrain mouvant, les autres, dans les endroits où il s'est trouvé deux couches d'argile, l'une inférieure et stationnaire, l'autre supérieure et glissante; on a fondé le mur sur la couche stationnaire, d'autres l'ont fondé sur la roche inclinée; et dans d'autres endroits, on a établi des pilotis dans l'argile mouvante.

L'expérience a prouvé que toutes les fois que l'avalanche s'est mise en mouvement, tous les prétendus moyens d'arrêt ont été emportés, et que leur résistance a été nulle, ou à peu près nulle.

Voici maintenant le genre de construction que propose M. l'abbé Paramelle pour arrêter les terrains mouvants :

Après s'être assuré par des sondages ou par de petits puits que la roche solide n'est pas trop profonde, on prépare les pierres de taille nécessaires. Chaque pierre consiste en un bloc équarri, long de 70 centimètres à 1 mètre, aussi large et aussi épais que ses dimensions le permettent et muni à l'un de ses bouts d'un crochet.

Toutes les pierres étant ainsi préparées, on fait en temps de sécheresse une tranchée horizontale le long du fossé supérieur de la route; cette tranchée a pour longueur toute la largeur de l'avalanche, et on l'approfondit jusqu'à la roche solide. Si la première couche de la roche n'est pas assez solide, on l'enlève et lorsqu'on est parvenu à la couche solide, on y fait une entaille horizontale profonde et large d'environ 15 centimètres. Les parois de cette entaille doivent être perpendiculaires non à l'horizon, mais à la pente de la roche. On pose la première assise de pierres taillées dont les crochets doivent avoir environ 15 centimètres de saillie et se bien encastrer dans l'entaille de la roche. Sur cette première assise, on pose les pierres de la seconde

dont les saillies s'accrochent au front de la première. Il suffit à la seconde assise et à toutes celles qu'on lui superpose que les crochets aient un décimètre de saillie. On pose la troisième assise comme la seconde, et ainsi de suite jusqu'au niveau du terrain mouvant.

Chaque assise peut avoir une épaisseur différente de toutes les autres, mais toutes les pierres d'une même assise doivent être taillées de la même épaisseur. A mesure que le mur s'élève, on garnit d'argile bien foulée le vide qui reste entre le mur et le pied de l'avalanche.

Un mur ainsi construit lui paraît en état de résister à quelle poussée de terrain que ce soit. Le seul inconvénient qu'il prévoit, c'est qu'il sera impraticable dans les endroits où la roche sur laquelle glisse l'avalanche se trouvera trop profonde.

Ce système de murs de soutènement n'est encore qu'une première idée jetée sur le papier, dont la valeur ne peut être prouvée que par des expériences. Ceux qui ordonnent ou dirigent la construction des routes et chemins de fer sont les seuls qui puissent l'éprouver, le modifier, le perfectionner et le propager. Si les profondes connaissances que les Membres de la Société possèdent dans l'art de construire ces voies les portent à croire que ses espérances de succès sont fondées et qu'ils veuillent bien en proposer l'application sur certains points, M. l'abbé Paramelle leur sera infiniment reconnaissant de vouloir bien lui faire connaître les résultats. S'ils sont favorables, comme tout lui fait espérer, il éprouverait une bien vive satisfaction d'avoir trouvé l'occasion de rendre encore un petit service à sa chère patrie.

M. de Bruignac donne communication d'une note sur la *locomotive électro-magnétique* de MM. P. Louis Bellet et Ch. de Rouvre.

A première vue, cette invention semble avoir un caractère tout à fait limité, car les inventeurs se sont appliqués spécialement à la construction d'une petite locomotive pour l'usage postal; mais la disposition nouvelle au moyen de laquelle ils utilisent la force électro-magnétique présente des particularités qui comportent peut-être une application étendue, et qui méritent à ce titre l'attention des ingénieurs. D'ailleurs la Société des Ingénieurs civils accueille toujours avec bienveillance les idées utiles, alors même que leur emploi serait en dehors de la sphère habituelle de ses travaux.

Divers locomoteurs déjà construits. — On a imaginé déjà plusieurs dispositions pour utiliser l'électro-dynamie; toutes consistaient à produire un mouvement, soit circulaire, soit alternatif, entre l'électro-aimant et son armature, par une interruption alternative du courant, puis à transmettre ce mouvement, par divers organes, soit à l'outil, soit à la roue motrice.

Principe du système de MM. L. Bellet et Ch. de Rouvre. — Dans ce système la roue motrice elle-même possède la puissance électro-magnétique; le principe consiste à créer une puissance d'attraction directe entre la voie et la jante de la roue motrice. Évidemment tous les points de la jante ne doivent pas posséder à la fois cette puissance attractive; le point de contact sur la voie, notamment, n'a pas besoin de cette puissance, car son adhérence à la voie n'a, par elle-même, aucune efficacité pour la locomotion. Disons qu'une disposition convenable maintient le point attractif de la jante à une distance à peu près constante en avant du point de contact de la jante de la roue motrice avec le rail.

Le mouvement de la roue motrice, et, par suite, la locomotion, est donc déterminée par l'action constante d'une force, dirigée verticalement, qui attire vers le rail

un point de la jante de la roue motrice située à une distance à peu près constante du point de contact.

Locomotive électro-magnétique pour l'usage postal. — Comme il arrive souvent, les auteurs de ce système ont concentré une attention particulière sur une application spéciale de leur invention, *la locomotive électro-magnétique pour l'usage postal*, cette intéressante machine dont l'efficacité a déjà été démontrée par l'expérience. Sa valeur pratique, dans une certaine limite, est donc un fait acquis; nulle autre combinaison existante n'entre en concurrence avec elle dans la sphère d'application à laquelle les inventeurs l'ont destinée. L'expérience acquise rend ici superflue toute nouvelle étude sur la locomotion postale elle-même; c'est donc sur le principe de l'invention et l'ensemble des applications qu'il semble comporter, que M. de Bruignac croit devoir appeler l'attention de la Société à cause de l'intérêt général qu'ils paraissent offrir aux ingénieurs.

Avantages spéciaux du système. — Ce qui paraît entièrement nouveau dans le système, c'est que le mouvement ne prend pas naissance hors de la roue motrice, pour lui être ensuite transmis, mais qu'il naît à la jante de la roue motrice elle-même. Il en résulte cette conséquence importante, que la puissance locomotrice est indépendante de la pression de la locomotive sur la voie; indépendante, par conséquent, du poids de la locomotive et de la pente de la voie. — Ceci est absolument vrai, quoiqu'il soit vrai pareillement que la résistance à la traction d'un objet donné augmente avec la pente. — Ces propriétés spéciales semblent introduire dans la locomotion un élément complétement neuf, dont les applications peuvent être importantes, particulièrement dans les voies en pente. On peut avoir à examiner si les locomotives électro-magnétiques du système dont il s'agit, convenablement étudiées dans les détails de leur disposition, ne s'emploieraient pas avantageusement dans les rampes assez fortes pour exiger l'établissement de machines fixes, soit à câbles simples, soit à câbles toueurs. On peut étudier également le bénéfice qu'il y aurait à amoindrir considérablement le poids de la locomotive, qui forme, actuellement, une forte portion du poids total du train. Il pourrait se faire que la traction électro-magnétique devînt plus avantageuse qu'une autre, alors même qu'elle serait plus chère par tonne utile traînée. On ne doit pas oublier non plus que le mécanisme, par suite de sa nature spéciale et de sa simplicité, fonctionne aussi sûrement et dans d'aussi bonnes conditions à toutes les vitesses. M. de Bruignac n'exprime ici que des aperçus, car il n'existe encore aucune expérience capable de baser un véritable calcul.

Toutefois, il suffit d'énoncer de pareilles idées devant des esprits pratiques pour qu'ils se demandent aussitôt quelles ressources présente l'électro-dynamie au point de vue pratique et industriel; quels résultats la science a déjà obtenus, et quel espoir on peut former sans trop d'imprudence.

État de la science électro-dynamique au point de vue industriel. — Malheureusement, l'électro-dynamie, assez étudiée au point de vue purement scientifique, est bien peu connue au point de vue industriel. On compare assez bien entre elles les sources d'électricité, mais on ne peut guère leur appliquer une mesure proprement dite; la science saurait-elle, *a priori* et sans tâtonner, répondre à cette question : Comment, et à quel prix peut-on réaliser, aux extrémités d'un électro-aimant, une force de 1, 10, 100, 1,000 kil., etc.?

Cependant voici quelques-unes des données principales que nous possédons :

Le courant produit par une pile est en raison directe de la surface du zinc plongé dans l'acide sulfurique, et, par conséquent, de la quantité de zinc dissous.

La pureté des acides, la finesse des vases poreux, la température, etc., ont une influence, mais elle est très-faible.

Les électro-aimants ne sont que des véhicules du courant électrique, et des commutateurs de sa puissance.

La force des électro-aimants varie avec le courant qui les traverse, mais cette variation est loin d'être constante. Les inventeurs citaient un petit électro-aimant qui portait au contact 12 kil. avec 2 éléments de Bunsen ; il portait 15 kil. avec 10 éléments, 17 kil. avec 20 éléments, 18 kil. avec 25 éléments ; au delà, et jusqu'à 50 éléments, la force croissait par grammes. La plupart des physiciens ont admis un maximum d'aimantation ; passé ce maximum, la force reste constante quel que soit le courant qui traverse l'aimant. En outre, un courant trop fort brûle le fil qu'il parcourt.

On ne connaît aucune relation entre la force d'un aimant et son volume ; entre la force et la longueur du fil ni son diamètre.

Actuellement les électro-aimants transmettent très-imparfaitement le courant électrique. Le désidératum de la question des électro-aimants est de connaître la disposition la plus simple et la moins coûteuse pour transmettre intégralement un courant donné.

On a construit des électro-aimants de toutes dimensions et de toutes forces. Celui dont l'action est la plus puissante appartient au collége de France ; il porte plusieurs tonnes. Pour développer cette puissance, moins de 20 éléments (grand modèle de M. Deleuil) sont suffisants.

Voici la loi qui a été donnée pour l'action des électro-aimants à distance :

L'attraction qu'un électro-aimant exerce sur une armature placée à une certaine distance de ses surfaces polaires est en raison inverse du carré de cette distance.

Dans leurs expériences, les inventeurs ont cru remarquer que cette loi ne se vérifiait pas pour des électro-aimants d'une certaine force, et que l'attraction était plutôt en raison inverse des distances. Cela a pareillement lieu lorsque la distance entre les surfaces polaires et l'armature dépasse quelques millimètres. (Cette circonstance serait favorable à l'emploi de ce système.)

Deux électro-aimants de même force au contact, c'est-à-dire portant le même poids avec le même courant, peuvent exercer à distance des attractions diverses. D'après les expériences des inventeurs, l'attraction à distance semble tenir à la longueur des branches et à la forme de l'électro-aimant. D'abord, elle est en raison directe de la longueur des branches ; mais cette proportionnalité décroît vite, et tout porte à croire qu'elle a une limite.

On voit que la théorie de l'attraction électro-magnétique laisse beaucoup à désirer au point de vue des applications industrielles ; on la trouve plus insuffisante encore si l'on se demande à quel prix peut être obtenue une attraction proposée.

Dépense d'une source d'électricité. — Rien n'est plus incomplet que les données industrielles qui paraissent exister sur la dépense d'une source d'électricité. M. de Bruignac essaye toutefois d'en tirer quelque parti, beaucoup moins dans l'espoir d'obtenir déjà un résultat utile, que pour montrer la voie dans laquelle il semblerait si désirable de diriger des études sérieuses.

Une pile formée de 50 éléments de Bunsen revient à 3 fr. par heure ; la dépense est donc environ de 6 cent. par élément et par heure. Cette pile est extrêmement puissante ; mais il faut remarquer que, probablement, aucun des électro-aimants qu'on possède n'est en état de transformer intégralement la puissance d'une pareille source.

En outre, il est probable qu'on arriverait progressivement à une dépense moindre si l'on avait besoin d'une forte production d'électricité, au lieu de se borner aux exigences de la télégraphie ou aux expériences de laboratoire.

Deux éléments de Bunsen, appliqués à un électro-aimant convenable, portent 800 kil. Comme point de départ du calcul des attractions à distance, on peut admettre que ces mêmes éléments portent 400 kil. à 1 millim. de distance.

On voit que les données de toute sorte sont encore trop incomplètes, trop exclusivement théoriques pour qu'on puisse songer à établir un calcul sérieux; M. de Bruignac tient à préciser qu'il ne pense pas à en faire, et que ce qu'il va ajouter n'est pas autre chose qu'une indication, un essai d'apercevoir la voie dans laquelle on trouvera peut-être, et dans laquelle au moins il est intéressant de chercher.

M. de Bruignac examine les conditions de travail de la roue motrice dans la locomotive électro-magnétique, il admet qu'elles sont inférieures aux conditions moyennes du travail d'une manivelle; car on est amené pour mieux utiliser la puissance, à augmenter le nombre des électro-aimants, et, par suite, à diminuer le bras de levier de la force motrice. Cependant ces conditions de travail ne sont pas mauvaises, et il peut y avoir avantage à ce que la force passe souvent par son maximum d'effet pendant un seul tour de roue.

M. de Bruignac fait remarquer l'avantage qu'il y aurait à supprimer une grande partie du poids de la locomotive, et l'avantage d'une transmission tellement simple qu'elle n'éprouve aucune détérioration par suite du mouvement, et qu'elle fonctionne avec la même facilité à toutes les vitesses. Dans la locomotive électro-magnétique, la transmission ne met obstacle à aucune vitesse, quelque grande qu'elle soit.

Envisageant un train moyen dont le poids absolu est de 130 tonnes, il semblerait juste de porter à 100 tonnes seulement le poids de ce train, lorsque la locomotive serait remplacée par une machine électro-magnétique. Si l'on admet que la résistance moyenne horizontale soit 9 kil. par tonne, la résistance à la traction que l'on aura à vaincre devient 900 kil. Adoptant le nombre de 20 électro-aimants par roue, comme les inventeurs l'ont fait dans leur machine postale, les électro-aimants feront entre eux un angle de 180, dont le sinus est à peu près 1/3, ce qui obligera à réaliser à la jante une puissance attractive d'environ 2,700 kil., ou 1,350 kil. par roue si les roues agissent ensemble. Remarquons d'abord que des électro-aimants de cette force n'ont rien d'anormal.

D'autre part, comme il y a tout avantage à augmenter le rayon des roues motrices, supposons-le de 1 mètre, ce qui donne à peu près $0^m,05$ de distance entre les pôles d'un électro-aimant et le rail lorsque l'électro-aimant précédent est au contact. Puisqu'un élément de Bunsen, convenablement employé, porte 400 kil. au contact, et 200 kil. à quelques millimètres de distance, ne peut-on pas espérer, d'après les quelques faits rappelés plus haut, qu'il produira une attraction de 10 kil. à 5 centim. de distance? Dès lors, 2,700 kil. d'attraction totale exigeront 270 éléments, qui dépenseront chacun 6 centimes par heure, soit 16 fr. 20 c. Pour une vitesse de 50 kilomètres par heure, la dépense pour produire la force motrice devient 0 fr. 32 c. par kilomètre. Sans doute, ce chiffre dépasse la dépense moyenne de combustible dans les locomotives par kilomètre de parcours, mais il n'a rien de rebutant si l'on songe que l'électro-dynamie n'est pas encore sortie de la période scientifique. Cet aperçu laisse de côté l'économie d'entretien, qui est sérieuse cependant dans une machine où les transmissions mécaniques sont presque nulles.

M. de Bruignac n'envisage aucune dépense du matériel en dehors des moteurs, puisqu'il est le même dans tous les cas.

Il a considéré seulement la force d'équilibre.

On obtiendrait un résultat plus favorable, en apparence, si l'on basait le calcul sur une comparaison avec la petite locomotive pour l'usage postal. En effet, elle pèse en tout 42 kil. et ses électro-aimants portent 15 kil. au contact, ce qui donnerait pour 100 tonnes $\frac{100,000 \times 15}{42 \times 100} = 89,2$, ou 90 éléments au lieu de 270.

Mais il faut remarquer que ce calcul serait entièrement vicieux, parce que la distance d'attraction est toute différente dans les deux cas. — La locomotive postale, si on lui applique les coefficients de la grande traction, ce qui, d'ailleurs, n'est pas rigoureux, exige environ $1^k,134$ de force attractive. Si l'on envisageait pour elle une attraction au contact 40 fois plus forte, comme cela a été fait plus haut, on obtiendrait pour valeur de cette attraction 45 kil. au lieu de 15, et, par suite, on arriverait au chiffre de 270 éléments au lieu de 90.

Au résumé, il semble à M. de Bruignac que la locomotive électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre pose une question d'un véritable intérêt; il serait heureux d'en provoquer l'étude approfondie. Presque tout, malheureusement, a besoin d'être complété; il faudrait étudier, au point de vue de la théorie et de la construction, la disposition et le nombre des électro-aimants; il faut obtenir des résultats industriels véritables sur la puissance mécanique des sources d'électricité et des électro-aimants qui l'utilisent; il faut se rendre un compte exact de la dépense nécessaire pour produire l'électricité en grand, et s'efforcer d'amoindrir cette dépense et d'en simplifier les instruments.

M. Richoux demande quelle vitesse a atteinte la machine dans les expériences faites à Versailles, et quel poids a été remorqué.

M. de Bruignac répond que cette petite machine, créée spécialement pour transporter les dépêches de la poste, a porté environ 18 kil. Il croit qu'elle a été expérimentée à Versailles et au Conservatoire; mais il n'a pas assisté à ces essais; il ajoute que les inventeurs étant présents à la séance pourraient à ce sujet renseigner la Société beaucoup mieux que lui.

M. Bellet, l'un des inventeurs, dit que des expériences ont été faites à la Société des sciences naturelles de Versailles. On a fait fonctionner la machine de deux façons; d'abord, comme locomotive, en utilisant son adhérence, ensuite comme locomobile, la machine étant isolée de ses rails à une distance telle que la force attractive pût encore s'exercer. Dans le premier cas, la machine faisait de 8 à 10 tours par minute; dans le second cas, elle a marché à 250 tours.

M. Love fait remarquer que les roues du petit modèle ont des jantes très-larges, nécessitées pour le placement des électro-aimants, et il demande si dans une machine plus forte la largeur des jantes devrait augmenter proportionnellement.

S'il en était ainsi, les rails devraient avoir des dimensions telles que le système lui paraîtrait inapplicable.

M. Nozo demande ensuite s'il est nécessaire que la jante soit en contact avec le rail sur toute la largeur, et si par conséquent les deux inclinaisons doivent s'épouser exactement pour que le système fonctionne. Cette condition lui paraissant impossible à réaliser en pratique, il verrait là une grave objection, sinon une impossibilité absolue à l'application en grand du système proposé.

M. de Bruignac répond à M. Love qu'il ne croit pas que la largeur des jantes doive

augmenter proportionnellement avec les autres dimensions de la machine, puisque rien n'indique que les dimensions des électro-aimants croissent proportionnellement à leur puissance; il est très-probable que dans une machine plus forte les électro-aimants devraient avoir des dimensions plus grandes, il est probable que leur largeur serait augmentée; mais, dans ce cas, il serait facile d'en modifier la forme, particulièrement aux points où ils s'assemblent avec les jantes. Il suffirait en ces points de rapprocher les deux branches; on diminuerait ainsi très-notablement la largeur des jantes.

Envisageant ensuite la question posée par M. Nozo, M. de Bruignac dit que l'attraction se faisant à distance, il n'est pas nécessaire que les jantes épousent l'inclinaison du rail. Le défaut de coïncidence fera perdre un peu de la force attractive; mais en supposant un écart moyen de 5 millimètres entre les jantes et le rail, on ne perdrait par là qu'un dixième en plus de la perte due à la forme circulaire de la roue, dans le cas de l'appareil calculé par M. de Bruignac dans lequel l'attraction est supposée se faire à 5 centimètres du rail.

M. Dubied fait remarquer qu'on a bien indiqué comment se produisait la force attractive, comment ensuite cette force agissait, mais qu'on n'a donné aucune idée du travail qu'elle pouvait produire. En industrie, ce qu'on doit avant tout considérer dans un appareil, c'est ce qu'il peut rendre. M. Dubied demande quel sera dans l'appareil électrique le travail qui sera produit autour de la roue, et quel en sera le prix de revient. Dans l'exposé fait par M. de Bruignac, il est question, pour un appareil qu'il a calculé, d'une pile composée d'un certain nombre d'éléments dont la dépense est supposée constante.

M. Dubied pense que la consommation devra varier avec la vitesse.

M. de Bruignac répond qu'il n'a pas fait d'expériences à ce sujet; mais qu'il ne croit pas que la dépense d'une pile varie, quel que soit le travail que produise la machine à laquelle on l'applique. Il cite le cas de l'électro-aimant auquel on fait supporter un poids; soit que le poids reste constamment suspendu, soit qu'on l'enlève et qu'on le remette alternativement, la dépense de la pile varie peu.

M. Léon Foucault fait remarquer qu'il est parfaitement établi que, dans un moteur électrique en marche, l'intensité du courant diminue à mesure que la vitesse augmente, d'où il suit, que la dépense produite par l'action chimique de la pile, diminue avec l'accroissement de travail.

Lorsque la machine est maintenue au repos, l'action chimique qui alimente le courant, a son équivalent complet dans la chaleur qui se dégage à l'intérieur du circuit formé en partie par la pile, et en partie par les fils conducteurs des électro-aimants. Mais au moment où la machine entre en marche, l'intensité du courant diminue non-seulement par le fait des interruptions, mais surtout en raison des forces électro-motrices d'induction qui combattent celles de la pile et réfrènent le courant, Comme d'ailleurs le dégagement de la chaleur est proportionnel au *carré* de l'intensité du courant, on voit qu'à mesure que l'action chimique se ralentit, il survient dans l'équivalent de chaleur dégagée, un certain déficit qui est précisément l'expression du travail mécanique transporté au moteur.

M. Dubied insiste sur son observation, qu'il croit néanmoins fondée. Il ne peut pas admettre que la dépense n'augmente pas quand le travail à produire sera plus considérable.

M. Nozo, cherchant à préciser la question, demande si un train double n'exigera pas une pile double, et par conséquent une double dépense.

M. de Bruignac fait observer que la pile est calculée d'après le poids du train; par conséquent, un train double exigera une pile double faisant une double dépense; mais la question est, en ce moment, de savoir si, pour un même train, des vitesses différentes feront varier la consommation d'une pile donnée. M. de Bruignac ne croit pas que cette variation soit sensible.

M. Richoux fait remarquer que le travail de la pile, pouvant se transformer soit en chaleur, soit en mouvement, il est facile de comprendre que la dépense ne croisse pas proportionnellement avec la vitesse, l'augmentation de travail dû à l'accroissement de vitesse étant pris aux dépens du travail primitivement employé à produire de la chaleur.

M. Farcot croit se rappeler que dans toutes les machines mues par les courants électriques expérimentées jusqu'à ce jour, on a remarqué que chaque changement dans la direction des courants donnait lieu à des pertes importantes. Il conclut de là, que plus on va vite, plus il y a de changements de courants dans le même temps, par conséquent plus il y a de pertes. La consommation et par suite la dépense augmentent donc avec la vitesse. Ce fait aurait été remarqué sur une machine de M. Froment; il serait la principale cause de l'insuccès des machines mues par l'électricité.

M. Rouyer dit que dans ces questions de nombre, il est bon de tenir compte des causes qui modifient le rendement. De même que dans les moteurs à vapeur on obtient des chiffres très-différents selon que l'on emploie la vapeur à pleine pression, ou avec détente, ou encore avec détente et condensation, de même, aussi, il est probable que le mode d'utilisation de la puissance électrique doit exercer une grande influence sur la puissance des moteurs électriques.

M. Rouyer demande aux inventeurs s'ils se sont aperçus d'un inconvénient que l'on a constaté dans une machine électrique de 8 à 10 chevaux qui a été expérimentée à l'École Centrale. Après un certain temps de marche, il se produisait une interversion de courants, soit par suite des vibrations de la machine, soit par suite de toute autre cause qu'on n'a pu connaître, et la machine s'arrêtait d'elle-même.

M. de Bruignac fait observer que la machine dont il s'occupe n'ayant pas de transmission mécanique proprement dite, une grande vitesse n'y produira pas de vibrations comparables à celles qui ont lieu dans les autres machines.

M. Ramel demande à ramener la discussion sur la question de la dépense. Il lui semble résulter des observations présentées par quelques membres, et en particulier par M. Léon Foucault, qu'avec le moteur électrique, un train déterminé, de 100 tonnes, par exemple, consommerait plus au repos qu'en marche. Il demande si le fait a été constaté.

M. de Bruignac répond que les expériences pratiques n'ont pas été faites.

M. Dubied, revenant sur la question du travail, dit qu'il n'a encore été question que d'une force, l'attraction de la roue par le rail; mais on n'a pas dit comment cette force pouvait produire un travail utile de traction. Il est indispensable pour cela de connaître la composante de la force attractive dans le sens du mouvement du train. M. Dubied demande comment on peut déterminer cette composante.

M. de Bruignac répond que la force de traction parallèle à la voie, et la force d'attraction magnétique normale à la voie, qui se font équilibre, sont, par conséquent, en raison inverse de leurs bras de levier, qui sont : le rayon de la roue motrice, et la distance entre le point de contact et le point attractif de la jante. Quant à la force de traction parallèle à la voie, elle doit équilibrer la résistance du train qui lui est direc-

tement opposée, et qui résulte très-approximativement de beaucoup d'expériences connues.

M. de Bruignac a établi son calcul sur ces bases : pour 20 électro-aimants, il a eu entre eux un angle de 18° dont le sinus est sensiblement 1/3; il a donc cherché une force attractive triple de la force de traction.

M. Richoux fait une objection relative aux distributeurs; il croit qu'on ne pourra que difficilement les entretenir dans un état convenable pour que les interruptions de passage du courant soient régulièrement maintenus. Il sait, par des observations qu'il a eu occasion de faire sur d'autres appareils électriques, que c'est là une difficulté sérieuse.

M. de Rouvre, l'un des inventeurs, répond qu'il suffira pour maintenir la propreté, d'adapter une petite brosse fonctionnant constamment. Que, d'ailleurs, dans les appareils pratiques, les touches métalliques seraient en platine, métal beaucoup moins oxydable que le cuivre, et qui, par conséquent, courrait moins de chance d'être entraîné, qu'enfin on recouvrirait la surface d'une légère couche d'huile. Il ne doute pas qu'avec ces précautions, les contacts fonctionnent avec une parfaite régularité.

M. Baull désire ramener un instant la discussion sur le terrain des principes théoriques. Pour traîner une machine ou un train sur un chemin de fer, il faut exercer un effort de traction égal à la somme des résistances opposées à la marche. Pour entretenir une certaine vitesse, il faut développer un travail égal au produit de cet effort par la vitesse. La traction d'un train exige donc dans tous les cas et quel que soit le système adopté, la production d'un travail mécanique déterminé.

Or, les principaux moyens connus pour obtenir artificiellement ce travail mécanique peuvent être tous ramenés à la transformation de la chaleur produite par une combinaison chimique. Dans les machines à vapeur, on fait brûler du charbon, on développe de la chaleur, et on transforme cette chaleur à l'aide de certains dispositifs en travail mécanique dont on utilise une partie seulement pour le but qu'on a en vue. Or, on sait que, quelque soit le degré de perfection atteint par des années de recherches, le rapport entre le nombre de kilogrammètres utiles recueillis et le nombre de kilogrammètres équivalant aux unités de chaleur que le charbon pourrait développer par une combustion complète, ce rapport qui est le coefficient d'utilisation de la chaleur dans les machines à vapeur est encore très-faible.

Dans les appareils électro-magnétiques, la source de travail est généralement une pile, soit pour fixer les idées une pile à zinc, par exemple. Les éléments de zinc diminuent de poids, le zinc est oxydé et peut être considéré comme le combustible. Or, quelque artifice qu'on emploie pour transformer en travail mécanique, par l'intermédiaire de l'électricité, la chaleur dégagée par cette combustion, on trouve, et c'est l'avis de plusieurs savants qui ont travaillé pendant longtemps la question des machines électro-magnétiques, que le zinc est loin d'être un combustible avantageux comparativement au charbon, qu'il coûte plus et pèse aussi davantage par calorie développée et que l'on n'arrive pas, dans son emploi, à un coefficient d'utilisation meilleur pour la transformation en travail mécanique de la chaleur développée.

Pour ces causes, il est bien à craindre que l'ingénieux appareil qui vient d'être décrit ne puisse servir de point de départ à l'invention d'un mode avantageux de traction sur les chemins de fer.

M. de Bruignac reconnaît parfaitement les principes généraux rappelés par M. Brüll, mais il ne pense pas qu'on puisse les appliquer sans restriction au cas actuel. Pourrait-on condamner, une fois pour toutes, tous les moteurs électriques consommant du

zinc, en disant que leur « combustible » , le zinc, est plus dispendieux que la houille, relativement au nombre de calories qu'il développe?... La houille *travaille* en manifestant des calories qui produisent de la vapeur; ensuite cette vapeur est utilisée dans des conditions mécaniques très-simples. Quant au zinc chimiquement brûlé, il produit bien quelque chaleur, mais, surtout, il *produit de l'électricité*. Est-ce bien une production, où un dégagement, ou une libération? Y a-t-il rapport entre les calories du zinc et l'électricité? Une fois l'électricité produite, elle agit dans des conditions que nous ne connaissons pas.

Quel rapport y a-t-il entre la réaction qui manifeste l'électricité et les effets que cette électricité cause? De quelle manière opère l'électricité pour causer les faits que nous voyons? etc. Nous ne pouvons répondre complétement à aucune de ces questions, ni à beaucoup d'autres. Il faut prendre garde de trancher des questions qui sont à peine connues.

M. Bellet ajoute que la machine mise sous les yeux de la Société n'est pas faite pour être comparée aux machines à vapeur. Elle a été étudiée pour un cas particulier dans lequel l'emploi de la vapeur n'était pas possible.

M. Nozo dit que la comparaison faite par M. Brüll est applicable aux chemins de fer. Elle a été motivée par l'extension que, dans l'opinion de M. de Bruignac, on pourrait donner au système.

M. de Bruignac reconnaît qu'il s'est peut-être écarté de la pensée des inventeurs, limitée, quant à présent, à l'appareil présenté à la Société. C'est en étudiant la question par lui-même qu'il a entrevu la voie d'avenir dont il a cru bon d'entretenir la Société.

M. Love ne saurait admettre avec M. Brüll cette assimilation entre les machines à vapeur et les machines électro-magnétiques. Dans ces dernières, c'est l'électricité qui produit directement le travail mécanique; ce n'est pas la chaleur. Celle-ci n'apparaît que comme phénomène accessoire; elle se développe principalement quand l'aimant n'est pas en activité, et c'est justement pour cela que la pile consomme plus, ainsi que M. Foucault vient de le faire remarquer, quand la machine ne fonctionne pas que lorsqu'elle produit son travail. Dans les machines à vapeur, si le coefficient d'utilisation des calories développées en kilogrammètres utiles est si faible, cela tient à ce qu'une grande partie des calories est employée à produire le travail absorbé par les résistances passives de toutes sortes. Dans les machines électro-magnétiques, la chaleur, développée dans la pile, n'est pas transformée en travail mécanique utilisable; c'est de la force perdue comme celle qui, dans les machines à vapeur, se dégage dans les frottements d'organes mal entretenus.

En résumé, dans la machine électro-magnétique, le zinc n'est pas un combustible. Il n'a pas pour but, ainsi que le charbon dans la machine à vapeur, de produire une certaine quantité de chaleur à transformer le mieux possible en travail mécanique. On ne peut donc établir une comparaison juste entre deux systèmes dont les éléments sont si différents; tout ce que l'on peut dire de la machine électro-magnétique, c'est que l'on ne connaît pas encore ni la quantité d'électricité produite pour une dépense déterminée ni le meilleur moyen de l'utiliser.

M. Baull fait observer que s'il n'a pas tenu compte, dans son raisonnement, soit des calories employées dans les machines à vapeur à vaincre les résistances passives, soit de la portion de zinc consommée inutilement dans les piles à produire de la chaleur, c'est qu'il n'a eu pour objet que la comparaison des coefficients d'utilisation du combustible dans les deux cas. Les machines à vapeur consomment du charbon,

les machines électro-magnétiques consomment du zinc. Quelle que soit la série de transformations ménagées dans ces machines pour obtenir, à l'aide de ces deux consommations, un certain résultat pratique, à savoir le développement d'un certain travail mécanique utile, on peut toujours comparer le rapport entre le nombre de kilogrammètres ainsi recueillis et celui qui correspondrait aux calories qu'on développerait en brûlant complétement les deux corps employés. Il a voulu dire seulement que ce rapport déjà si faible dans les machines à vapeur perfectionnées par tant d'efforts, était encore plus défavorable dans les essais entrepris jusqu'à présent pour réaliser des machines électro-magnétiques.

M. Rouyer fait observer que la discussion semble porter sur ce fait : à savoir si la chaleur et l'électricité peuvent toutes deux directement produire la puissance, ou si l'une seule des deux donne ce résultat, tandis que l'autre soit obligée de se transformer en celle-ci pour donner la puissance si l'une des deux causes produit directement la force, ou est elle-même la force; tandis que l'autre doive subir une transformation avant d'en arriver là. Il peut résulter de cette transformation une cause de diminution de rendement inappréciable pour les moyens actuellement connus.

Dans cette hypothèse, il serait intéressant de savoir quelle est la cause primitive et quelle est la cause seconde entre la chaleur et l'électricité.

M. Liret croit devoir insister sur la justesse de l'observation de M. Brüll en rappelant que, dans ses lettres sur la chimie, Liebig a admirablement exposé ce point de vue philosophique de la science « *que les effets produits sont en raison inverse des équivalents chimiques.* »

Pour obtenir le même effet en travail, vous brûlerez des poids de zinc et de charbon qui, abstraction faite des machines employées, seront proportionnés aux équivalents du zinc et du carbone. Vous brûlerez donc 406 de zinc contre 75 de charbon.

Il n'y a donc pas lieu de demander si la machine de MM. Bellet et de Rouvre peut être appliquée à la traction sur les chemins de fer, mais simplement d'examiner sa valeur pour l'usage spécial auquel ils l'avaient destinée.

M. de Bruignac reconnaît que la discussion ne s'applique pas à l'appareil spécial placé sous les yeux de la Société. Il a cru pouvoir parler brièvement de cet appareil parce que sa simplicité, et les expériences dont il a été l'objet, prouvent qu'il est efficace et préférable, dans la sphère d'action à laquelle il est destiné. M. de Bruignac a donc cru intéressant d'étudier quelques développements que le principe de l'invention lui semblent comporter.

M. Jullien croit ces critiques prématurées, la question est à l'état naissant, il faut la laisser grandir. Beaucoup de questions, qui ont été jugées impossibles au premier abord, le procédé Bessemer entre autres, n'en sont pas moins devenues très-pratiques.

M. Goschler est d'avis qu'on doit limiter la question à la pensée des inventeurs dont l'expression est le petit appareil présenté à la Société. Étudié en vue d'être employé à un service spécial, là où la vapeur n'était pas possible, il présente une application très-intéressante de l'électricité.

M. le Président pense que, ramenée à ces termes, la question est épuisée, et il clôt la discussion en remerciant M. de Bruignac de l'intéressante communication qu'il a bien voulu faire à la Société.

MM. Flavien, Javal et Vinay ont été reçus membres-sociétaires.

Séance du 16 Juin 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président ouvre la séance et donne la parole à M. Donnay pour la lecture du procès-verbal. La rédaction est adoptée.

A l'occasion des procès-verbaux, quelques membres ont fait parvenir au bureau plusieurs observations. M. Rouyer, dans une lettre du 6 juin courant, fait connaître les avantages qu'il y aurait à faire corriger les épreuves du compte rendu de la séance par les membres mêmes qui ont pris la parole.

M. le Président fait remarquer que cette précaution est prise pour toutes les communications, et la plupart du temps pour les discussions; si, dans quelques cas fort rares, cette mesure n'a pas été suivie, ce ne peut être que lorsque dans des discussions étendues auxquelles prennent part un très-grand nombre de membres, il devient matériellement impossible, dans le court espace de temps qui sépare deux réunions consécutives, de soumettre à la correction de chacun les épreuves à revoir, et surtout d'attendre la possibilité de les faire corriger par des membres absents momentanément ou qu'on ne rencontre chez eux qu'à des heures déterminées. Comme rien ne s'oppose à ce que les membres intéressés à voir reproduire avec exactitude leur opinion dans nos comptes rendus fassent passer au secrétariat, directement rédigée par eux, la note qu'ils veulent voir imprimée, les inconvénients qui prennent leur source dans une narration inexacte disparaissent, le travail très-pénible incombant au secrétaire est considérablement diminué, et les rectifications tardives contre lesquelles on réclame deviennent inutiles.

M. le Président, répondant ensuite à la seconde proposition de M. Rouyer de faire publier à l'avance le mémoire dont il doit être fait communication, rappelle que c'est ce qui s'exécute généralement. Après toute lecture ou tout exposé qui, sur la demande d'un membre de la Société, peut devenir l'objet d'une discussion approfondie, l'impression est décidée soit *in extenso*, soit en partie seulement et la discussion remise à la séance suivante. Ainsi préparés, les membres de la Société ont tout le temps de mûrir leurs observations et d'apporter en séance le fruit de leurs lumières. Si quelques jeunes ingénieurs, des plus zélés, entraînés par leur ardeur, croient devoir séance tenante demander la parole, ils trouvent dans la prière qui leur est faite de déposer au siége de la Société la reproduction des paroles qu'ils ont prononcées, toute facilité pour voir leur opinion fidèlement exposée, et, dans tous les cas, il leur est loisible de réclamer l'ajournement de la discussion après l'impression et la distribution du compte rendu.

Sous ces deux rapports, les réclamations de M. Rouyer, fondées quant au fond, trouvent dans les usages de la Société une satisfaction entière. Et quant aux observations qu'il a préparées pour réfuter avec des développements suffisants les opinions de M. de Bruignac, l'ordre du jour de la prochaine séance appellera la discussion sur la locomotive électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite communication d'une lettre de M. Richoux relative aux observations présentées dans la dernière séance par M. Léon Malo.

M. Richoux indique que chaque nature de combustible exige pour sa combustion complète un volume d'air différent; que par suite le rapport du plein au vide, dans une grille, doit varier avec la nature du combustible dont on la charge. Les bons constructeurs de chaudières obéissent à cette nécessité et font varier le rapport dont il s'agit suivant que la grille doit brûler de la houille, du coke, de la tourbe ou de la sciure de bois. Ce qui est pratiqué pour des combustibles de nature aussi différente devrait être également usité pour une grille qui, chargée d'abord de houille, se trouve, après un certain temps, chargée de houille et de coke; aussi voit-on que les constructeurs, pour rentrer dans cette condition, donnent une inclinaison de 4 à 5 centimètres par mètre aux barreaux, ce qui permet une classification du combustible dans le sens de la longueur de la grille, et aussi de faire varier facilement et graduellement la hauteur du combustible, afin de compenser par l'épaisseur de la couche l'inconvénient qui résulte de barreaux également espacés, livrant accès à des quantités d'air à peu près égales, alors qu'il s'agit de brûler des combustibles qui en exigent des quantités différentes.

Cette disposition de grille, sanctionnée par la pratique, montre pourquoi l'on a abandonné à la pompe à feu de Chaillot la grille Taillefer, malgré l'avantage qu'elle paraissait présenter par suite du chargement continu et uniforme résultant de son mouvement de translation et aussi malgré l'avantage résultant de la suppression de l'ouverture des portes.

M. Richoux croit donc avoir suffisamment justifié ce qu'il a avancé dans la séance du 19 mai, à savoir qu'en modifiant une grille et l'épaisseur de son chargement, on peut obtenir des résultats aussi avantageux que ceux donnés par M. Malo dans sa communication, résultats qui du reste sont contestés par les expériences faites par la Société industrielle de Mulhouse.

M. LE PRÉSIDENT, en déposant sur le bureau les différents albums offerts à la Société par le Comité des Forges, donne lecture de la lettre qu'il a cru devoir adresser à M. Schneider, président du Comité des forges et fonderies françaises, et de la réponse qui lui a été faite. Ces deux lettres sont ainsi conçues :

A M. Schneider, président du Comité des Forges.

« Monsieur le Président,

« J'ai reçu, comme ingénieur civil, votre circulaire du 1er avril dernier, et, à ce titre, j'ai pu voir avec intérêt la collection que vous avez réunie, rue de Provence, 68. Comme président de la Société des Ingénieurs civils, j'ai un autre devoir à remplir. C'est celui de vous demander pour les archives de notre Société la collection des albums des fers spéciaux et fontes moulées des diverses forges et fonderies françaises parus jusqu'à ce jour.

« La collection du Comité des Forges est déposée au secrétariat du Comité, 68,

rue de Provence; elle est à la disposition de MM. les ingénieurs et architectes de une heure à quatre heures; le local et la bibliothèque de la Société des Ingénieurs civils sont ouverts tous les jours et les soirs; ils sont à la disposition de MM. les membres de la Société jusqu'à onze heures. Le dépôt de votre collection dans les archives de notre Société compléterait donc *heureusement*, et *sans frais* pour votre Comité, une disposition qui tend à favoriser le développement de l'industrie du fer et de la fonte en France, en vulgarisant l'usage de ces matières et facilitant leur emploi dans la construction.

« Veuillez agréer, etc. »

La réponse courtoise de M. Schneider ne s'est pas fait attendre; elle est trop flatteuse pour la Société pour ne pas être reproduite.

M. Schneider a répondu :

« Monsieur le Président,

« J'ai reçu la lettre que vous m'avez fait l'honneur de m'écrire le 29 mai, et par laquelle vous me demandez, pour les archives de la Société des Ingénieurs civils, la collection des albums des fers spéciaux et fontes moulées des diverses forges et fonderies françaises parus jusqu'à ce jour, collection qui a été réunie par le Comité des Forges.

« Je suis convaincu, monsieur le Président, que le Comité ne saurait faire un meilleur usage de ce recueil qu'en en confiant un exemplaire à la Société des Ingénieurs civils. Cet exemplaire est dès à présent à la disposition de la Société, à qui le Comité est heureux d'en faire hommage.

« Je joins à cette demande celle de l'album que le Creuzot a publié et qui a pour titre : Schneider et Cᵉ. Usines du Creuzot, album des ouvrages d'art et des locomotives exécutés au Creuzot.

« Veuillez agréer, monsieur, etc. »

Les albums qui accompagnent cette lettre sont au nombre de 12; il faut mentionner d'une manière toute spéciale le travail publié par le Creuzot, dont l'utilité dans nos archives est incontestable.

Les albums à paraître seront successivement fournis à la bibliothèque, grâce aux bons soins de M. Desbrière, membre de la Société. Le bureau fera toutes les démarches nécessaires pour obtenir les albums des fontes décoratives de MM. Barbezat, Durenne, etc., qui compléteront ainsi l'ensemble des documents que les ingénieurs ont si souvent besoin de consulter.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Trélat qui fait part à la Société de la formation de l'École centrale d'architecture.

Cette lettre intéresse la Société, qui s'est à plusieurs reprises occupée de l'enseignement professionnel; elle est ainsi conçue :

« Monsieur le Président,

« Vous avez voulu saisir l'occasion de votre installation à la présidence de la Société des Ingénieurs civils pour donner un encouragement à la création de l'École centrale d'architecture. Celle-ci ne peut oublier la sympathie de vos paroles au moment où elle doit constater son existence définitive. Permettez-moi de vous annoncer

ici que l'École centrale d'architecture ouvrira ses ateliers et ses amphithéâtres le 10 novembre prochain. Permettez-moi aussi de vous prier de communiquer à la Société les programmes de notre enseignement.

« Si vous m'y autorisez, je pourrai faire déposer au siége de la Société un certain nombre d'exemplaires de ces pièces. Elles pourraient intéresser ceux de mes collègues qui ont apprécié l'opportunité de l'organisation de l'enseignement architectural.

« Veuillez agréer, etc. »

M. LE PRÉSIDENT pense que cette lettre mérite une réponse; il la veut faire publiquement.

Lorsqu'en prenant place pour la première fois au fauteuil de la présidence, il a fait ressortir les avantages de l'initiative individuelle en matière d'enseignement professionnel, lorsqu'il a parlé des projets de M. Trélat de fonder une École centrale d'architecture, il ne croyait pas à des succès si prochains. Il est heureux des sympathies avec lesquelles la formation de ce nouvel enseignement spécial a été de toute part accueillie par les hommes éminents qui ont adhéré et couvert les souscriptions. L'École centrale d'architecture est un fait acquis aujourd'hui. Non-seulement l'École est créée, mais elle ouvre ses portes au 10 novembre prochain. Le personnel administratif est connu, le corps enseignant nommé. Deux des membres du conseil sur trois appartiennent au corps des Ingénieurs civils, membres de votre Société; le directeur des études est M. Goschler, choisi également parmi nos collègues; au nombre des professeurs nous citerons plusieurs noms qui nous rappellent des plus habiles et des plus instruits de nos maîtres de l'École centrale, ou de nos camarades.

La prompte réalisation des plans de M. Trélat prouve une fois de plus, et d'une manière péremptoire, qu'ils répondent aux besoins de l'époque.

M. LE PRÉSIDENT, qui s'associe de tout cœur au succès de l'École centrale d'architecture, pense donc que son opinion sera partagée par la Société; il croit voir pour l'avenir une source féconde à laquelle la Société des Ingénieurs pourra puiser de nombreux adhérents et des travaux utiles au développement de notre influence commune, surtout si l'enseignement de l'École forme avec des architectes des ingénieurs-constructeurs. Sa conviction est profonde; la Société des Ingénieurs civils, qui se recrute parmi les ingénieurs sans distinction d'origine, peut espérer voir pour elle dans les élèves diplômés de l'École d'architecture une cause de force et d'importance; à ce titre, il croit être l'organe de ses collègues en remerciant M. Trélat du dépôt des pièces qui accompagnent la lettre dont il vient d'être donné lecture.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société à la date du 16 juin 1865.

M. LOUSTAU indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 16 décembre 1864, de..... 750
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 34
784
A déduire par suite de décès pendant ce semestre..... 2
Nombre total des Sociétaires au 16 juin 1865..... 782

rue de Provence; elle est à la disposition de MM. les ingénieurs
heure à quatre heures; le local et la bibliothèque de la
civils sont ouverts tous les jours et les soirs; ils sont à la
bres de la Société jusqu'à onze heures. Le dépôt de ve
de notre Société compléterait donc *heureusement*,
disposition qui tend à favoriser le développem
en France, en vulgarisant l'usage de ces m
construction.

« Veuillez agréer, etc. »

La réponse courtoise de M. Sc
teuse pour la Société pour n

M. Schneider a rép

« Mon

« J'ai reçu
laquelle vo
collectio
deries
Forg

le

c

sont élevés à :

	215 »	12,965 »
	2,750 »	
admission...		15,394 »
.....		28,359 »
	3,835 »	16,800 »
.....	12,965 »	
	9,500 05	14,793 05
	910 30	
	4,384 70	
.....		2,004 95
.....		2,004 95
.....		84,803 60
.....		5,996 »
.....		90,799 60

du Trésorier. Ces comptes

des remercîments pour

sur les buanderies et
ministre de l'agriculture
l'exposé d'un projet de loi
degré le bien-être des in-

encouragements de l'adminis-
résultats sont loin d'être en

les motifs de cet insuccès;
enfin à indiquer quelles sont

bains et lavoirs dans les principales
il indique comment on a été

à les réunir chaque fois qu'il s'est agi de créer des établisse-

nstructions anglaises qui ont été prises pour types, à tort
pour des causes qu'il explique; passant ensuite en revue
pour ces exploitations, sociétés dont la plupart, sous le
ublique, sont entrées dans des spéculations des plus
notifs principaux des insuccès relatifs aux bains et

s détails; il établit la séparation bien nette entre les
lavoirs, en tant qu'établissements industriels dont il n'en-
et sa communication relative à ceux *d'utilité publique*, destinés
ere.

isant ressortir dans les diverses installations les plus remarquables, ce qui
ngue le système français du système anglais, l'avantage sérieux que le premier présente sur le second au point de vue de la conservation du linge et du plus parfait blanchissage, il résume la question en indiquant, d'après son expérience, ce qui lui paraît nécessaire, indispensable pour l'installation économique et l'exploitation d'un bain et lavoir public à prix réduits.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Muller des détails intéressants qu'il vient de donner *sur* un sujet d'études qui lui est si familier, et l'invite à rédiger d'abord pour le Compte rendu un résumé de ses observations, puis pour le Bulletin un travail complet sur les bains et lavoirs considérés comme établissements d'utilité publique.

Les versements effectués pendant le premier semestre 1865 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc...	10,215 »	12,965 »
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable....	2,750 »	
Il reste à recouvrer en cotisations, amendes et droits d'admission...		15,394 »
Total de ce qui était dû à la Société.....		28,359 »
Au 16 décembre 1864, le solde en caisse était de.....	3,835 »	16,800 »
Les versements effectués pendant le premier semestre 1865 se sont élevés à.....	12,965 »	

Les sorties de caisse du semestre écoulé se sont élevées à :

1° Pour dépenses diverses, impressions, appointements, affranchissements, etc., etc.....	9,500 05	14,793 05
2° Dépenses pour l'extension du local.....	910 30	
3° Pour achat de 15 obligations nominatives.....	4,384 70	
Il reste en caisse à ce jour.....		2,004 95
dont..... 1,171 55 pour le service courant.		
et..... 833 40 pour le fonds social.		
Somme égale..... 2,004 95		2,004 95
La Société a en outre en portefeuille sur son fonds social inaliénable 284 *obligations nominatives de chemins de fer ayant coûté*....		84,803 60
Plus sur le fonds courant 20 *obligations au porteur ayant coûté*..		5,996 »
Total.....		90,799 60

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes du Trésorier. Ces comptes sont approuvés.

M. LE PRÉSIDENT adresse au Trésorier, au nom de la Société, des remercîments pour sa bonne et active gestion.

M. ÉMILE MULLER donne ensuite communication d'une note sur les buanderies et les lavoirs publics; il rappelle qu'en 1850 M. Dumas, alors ministre de l'agriculture et du commerce, prenait l'initiative, et faisait ressortir dans l'exposé d'un projet de loi l'importance de ces créations, qui intéressent au plus haut degré le bien-être des individus et la santé publique.

Il constate que, malgré les subventions, malgré les encouragements de l'administration supérieure et le bon vouloir des communes, les résultats sont loin d'être en rapport avec ce qu'il était permis d'espérer.

Il conclut à l'intérêt qu'il y a à rechercher quels sont les motifs de cet insuccès; à étudier les résultats des expériences qui ont été faites; enfin à indiquer quelles sont les dispositions à conseiller pour l'avenir.

M. MULLER résume d'abord l'historique des bains et lavoirs dans les principales contrées d'Europe, en tant qu'établissements séparés; il indique comment on a été

forcément conduit à les réunir chaque fois qu'il s'est agi de créer des établissements à prix réduits.

Puis, analysant les constructions anglaises qui ont été prises pour types, à tort selon lui dans bien des cas, pour des causes qu'il explique; passant ensuite en revue les sociétés qui se sont créées pour ces exploitations, sociétés dont la plupart, sous le titre d'établissements d'utilité publique, sont entrées dans des spéculations des plus fâcheuses, M. Muller indique les motifs principaux des insuccès relatifs aux bains et lavoirs publics.

Il entre ensuite dans quelques détails; il établit la séparation bien nette entre les établissements de *bains* et *lavoirs*, en tant qu'établissements industriels dont il n'entend pas s'occuper, et sa communication relative à ceux *d'utilité publique*, destinés à la classe ouvrière.

Puis, faisant ressortir dans les diverses installations les plus remarquables, ce qui distingue le système français du système anglais, l'avantage sérieux que le premier présente sur le second au point de vue de la conservation du linge et du plus parfait blanchissage, il résume la question en indiquant, d'après son expérience, ce qui lui paraît nécessaire, indispensable pour l'installation économique et l'exploitation d'un bain et lavoir public à prix réduits.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Muller des détails intéressants qu'il vient de donner sur un sujet d'études qui lui est si familier, et l'invite à rédiger d'abord pour le Compte rendu un résumé de ses observations, puis pour le Bulletin un travail complet sur les bains et lavoirs considérés comme établissements d'utilité publique.

L'ESPAGNE INDUSTRIELLE.

CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

sur la production des houilles,

PAR M. VAL. DE MAZADE.

I

PRÉLIMINAIRES. — Le spéculateur qui jette aujourd'hui un regard sur la situation économique de l'Espagne ne peut s'empêcher d'être saisi d'un profond sentiment de méfiance. Tandis que pendant une période de dix années, qui viennent de s'écouler, les valeurs espagnoles obtenaient parmi nous un véritable succès de vogue, elles sont à cette heure frappées d'une défaveur croissante. Le gouvernement de la reine Isabelle a vu le crédit refuser de lui venir en aide ; les chemins de fer de la Péninsule perdent rapidement la faveur qui leur était acquise, et l'industrie privée traverse la crise la plus pénible dont on se souvienne. Une pareille situation est assurément influencée par les causes générales qui pèsent actuellement sur le commerce et l'industrie, mais il existe ici des circonstances particulières et locales dont il est impossible de méconnaître la portée.

Malgré la hardiesse d'une telle affirmation, je ne crains point d'avancer que généralement on a abordé les affaires industrielles espagnoles sans les connaître et sans les avoir suffisamment étudiées. Voilà, selon moi, l'origine véritable d'un malaise fort difficile à guérir complétement aujourd'hui. Des exemples me permettront de développer ma pensée et feront comprendre ma proposition.

S'il faut en croire M. Pablo Galvan y Murillo, qui publiait récemment une brochure sur les finances de son pays, *l'éducation économique de l'Espagne est détestable*. Ce qui est vrai de nos jours était bien plus apparent il y a quatorze ou quinze années. Lorsque, en 1849, M. Juan Bravo Murillo arriva au ministère des finances, il y trouva le désordre le plus complet : le trésor était vide ; l'équilibre entre les recettes et les dépenses,

rompu; l'État laissait protester ses traites; les nombreux fonctionnaires ne recevaient en général que 60 ou 70 p. 0/0 de leur traitement, encore étaient-ils obligés d'accepter comme argent comptant quelques quintaux de sel ou une livraison de tabac. Le ministre que nous venons de nommer, doué d'un vigoureux esprit d'organisation, qualité fort rare chez nos voisins, voulut pénétrer dans ce chaos financier pour y apporter la lumière. Mais, obligé dès le début de s'adresser au crédit qui lui imposait des conditions onéreuses, il fut conduit à liquider une pareille situation, et, procédant à la façon d'un particulier qui veut rétablir ses affaires par une marche nouvelle, il arriva à conclure avec les créanciers de l'Espagne une sorte de concordat qui se traduisit par la loi du 1er août 1851. D'après ce règlement, on créait entre autres une dette qui, ne portant pas intérêt, s'éteignait au moyen d'une allocation annuelle, en un mot ce que l'on appelle la *dette amortissable*. Les capitalistes français, spécialement intéressés dans cette opération, acceptèrent la loi de 1851 comme base de leurs droits nouveaux. Habitués à se présenter devant une caisse vide, ils avaient été mis en présence d'un homme qui offrait de transformer un papier de médiocre valeur en titres de dette garantis par l'hypothèque de trois catégories de biens nationaux : pouvaient-ils hésiter? Malheureusement, lorsqu'il s'est agi d'appliquer la loi, il s'est élevé de telles difficultés, qu'elles ont successivement fait fermer les principales Bourses européennes aux valeurs espagnoles. M. Bravo Murillo est un habile avocat qui connaît à fond toutes les ressources de la langue judiciaire; il avait pesé chaque mot de sa loi en jurisconsulte, il en avait calculé les ambiguïtés et les sous-entendus avec une telle précision que, lorsqu'on vint presser le gouvernement, il put répondre sans violer la lettre du contrat : *J'avais cru donner une hypothèque réelle; vérification faite, il se trouve que les biens engagés n'existent pas; je me suis trompé et j'ai trompé sans le vouloir, j'offre une compensation de* 1,550,000 *francs*. Ce dénoûment, peut-être prévu, mit en émoi la Bourse de Paris. En présence d'un tel commentaire du contrat, elle ferma ses portes; les créanciers, voyant vendre au bénéfice du Trésor des propriétés qu'ils considéraient comme leur garantie, déclarèrent, en 1861, les valeurs espagnoles suspectes. M. Bravo Murillo, pressé de s'expliquer, a pris la parole, et, dans une brochure qui, au mois de novembre dernier, eut un certain retentissement à Madrid, il prouve à ses contractants qu'il a bien pris toutes ses précautions, qu'il ne reste aux porteurs de titres qu'à se rendre à merci; il ne peut y avoir doute, suivant l'ancien président du conseil des ministres, et le syndicat de Paris commet une criante injustice en frappant des valeurs qui n'existaient pas à cette époque. Il est certain que la mesure adoptée gêne singulièrement les opérations nouvelles.

Eh bien, pour peu que cette question eût été approfondie, pour peu que l'on eût voulu se rendre compte de la valeur des mots, les créanciers ne se verraient point aujourd'hui pris dans les filets d'une loi qui les

livre, il n'y a pas à se le dissimuler, aux subtilités du législateur espagnol; nous ne verrions point les adjudicataires à tout prix de voies ferrées péninsulaires aspirer après le jour où ils pourront lancer sur les marchés extérieurs une avalanche d'actions beaucoup trop lourdes pour eux.

Le gouvernement espagnol a ressenti les effets de cette foi douteuse. Depuis 1861, les divers ministres des finances qui se sont succédé à Madrid, ne pouvant s'adresser au crédit, ont vu le découvert s'élever à 550,000,000 fr. Les financiers plusieurs fois convoqués ont fait la sourde oreille, chacun a eu ses intérêts particuliers à défendre, et les ressources qu'ils mettaient à la disposition du ministre devenaient autant de charges nouvelles. En novembre dernier, M. Barzanallana en vint à élever l'intérêt de la caisse des dépôts et consignations à 9 p. 0/0 afin de se procurer des fonds devenus indispensables; M. Alejandro Castro s'est vu forcé de vendre les biens de la couronne en attendant qu'il pût négocier un emprunt fort onéreux; peut-être son successeur finira-t-il par découvrir que le procédé le plus économique pour emprunter est de payer ses dettes, ou tout au moins de les reconnaître.

Si des finances de l'État nous passons à l'industrie des chemins de fer, et, pour ne point tomber dans la polémique, j'éviterai les particularités, nous allons nous trouver en face du même inconnu. Les concessions trop peu étudiées occasionnent des mécomptes sans nombre et se multiplient néanmoins. Les budgets de dépenses sont dépassés de 30 ou 35 p. 0/0 et les recettes probables ne sont point atteintes. Que résulte-t-il de cela? C'est que toutes ces lignes cotées à prime dès leur début voient leurs valeurs baisser à mesure qu'on les connaît mieux et arriver à une dépréciation périlleuse. Attendez que les réseaux se complètent pour préjuger l'avenir, dira-t-on. Ce serait une grave erreur de nourrir pour le moment de grandes espérances; il vaut mieux convenir qu'il y a eu mécompte, et ce mécompte deviendra tous les jours plus frappant. L'Espagne est peut-être le seul pays où *telle* ligne puisse suspendre son service pendant 24 heures sans gêner le public, et le fait paraît exister. Faudrait-il conclure de là qu'on eût dû repousser de prime abord l'industrie des chemins de fer espagnols? Non, sans doute; mais si l'on admet qu'ils présentassent des garanties à la spéculation, et je crois qu'ils en présentaient, il faut bien admettre aussi qu'on n'a pas assez tenu compte des circonstances locales dans l'étude économique de ces questions. Les chemins de fer sont plutôt l'effet de la puissance productive des races que la cause de cette puissance productive. On a trop oublié cette vérité et l'on n'a pu alors mettre les charges en relation avec les avantages. Assurément la spéculation n'aurait rien perdu de sa hardiesse si elle eût été guidée par une science moins contestable.

Je n'ai point la prétention de retracer dans ce qui précède les embarras financiers de l'Espagne ni de décrire les difficultés au milieu des-

quelles se débattent les compagnies de chemins de fer. Mais cela suffira, je crois, pour faire apprécier la proposition qui m'a servi de point de départ et montrer l'importance de tous les documents concernant l'industrie espagnole. Ces documents sont rares, et souvent l'on se voit obligé d'y suppléer par des hypothèses plus ou moins exactes. Est-il dans cet ordre d'idées une question plus intéressante que celle qui concerne *la production houillère en Espagne*? Je ne saurais prendre de meilleur guide pour l'aborder que M. Lucas de Aldana, l'un des ingénieurs distingués du corps des Mines en Espagne et membre du Comité consultatif qui siége à Madrid. M. Lucas de Aldana a publié sur cette matière un opuscule fort intéressant dans lequel on trouve une science incontestable jointe à une passion prononcée pour le vrai. Voilà deux titres fort recommandables par tous pays, l'auteur ne saurait m'en vouloir de les rappeler ici.

II

Historique. — Avant d'arriver à m'occuper de l'état actuel de l'industrie houillère en Espagne, je crois qu'il ne sera pas inutile de dire quelques mots des phases qu'elle a eu à traverser.

La houille, qui a pris une si large place dans nos besoins modernes, était exploitée dès le dixième siècle en Angleterre; au treizième siècle, Saint-Étienne commençait ses travaux d'extraction. L'usage en fut restreint d'abord aux besoins domestiques; plus tard, après plusieurs centaines d'années, il s'étendit par l'invention de la machine à vapeur, appliquée bientôt à la navigation, par l'éclairage au gaz; enfin, lorsque les chemins de fer vinrent en 1825 et que l'industrie commença ce grand mouvement qui l'entraîne, sa consommation ne connut guère d'autres bornes que celles que lui imposait la production : 1769, 1844 et 1825 furent les grandes étapes de l'exploitation des charbonnages. L'Espagne, stationnaire au milieu de cette révolution, semble ne pas soupçonner la grandeur des résultats auxquels on arrive; elle connaît à peine ce combustible qui vient s'imposer comme un nouvel élément de force. En 1742 eut lieu dans la Péninsule la première concession houillère dont on retrouve la trace : elle fut accordée en Andalousie à un nommé Juan Ledis, qui fit à *Villa-Nueva del Rio* le premier essai d'exploitation. Cette mine, située dans une position exceptionnelle, à quelques kilomètres du Guadalquivir, à 35 kilomètres de Séville où se trouvait un arsenal, fut pour le concessionnaire le théâtre d'un échec complet. Juan Ledis dut renoncer à son entreprise, vaincu par le mauvais vouloir d'une population effrayée par ces tourbillons de fumée noirâtre. En 1774, Antonio de Aguirre obtenait une nouvelle concession dans la même localité.

Mais, suivant l'opinion des gouvernants de la Péninsule, cette matière, n'étant *ni métal ni semi-métal*, échappait à la réglementation des mines.

En conséquence, Charles III, un souverain auquel l'Espagne dut beaucoup, publia, en 1780, une loi dont les considérants offrent cela de curieux qu'on y trouve l'origine d'une erreur profondément enracinée par delà les Pyrénées : « *Vu l'abondance des charbons de pierre qu'il y a en ces domaines,* « *et considérant les avantages que leur exploitation peut procurer à nos vas-* « *saux par suite du manque de bois de chauffage..... décrète.* » Voilà donc l'abondance établie de par le roi. Il suffit d'énumérer quelques-uns des avantages accordés aux concessionnaires de Villa-Nueva et aux propriétaires de mines de charbon en général, pour faire comprendre l'importance attachée par le monarque castillan au combustible minéral : « Nul « ne pouvait en entraver l'exploitation; les mines découvertes dans le « travail des houillères appartenaient de droit aux concessionnaires de « celles-ci; les bêtes de somme nécessaires à l'exploitation avaient droit « de pâturage dans un cercle de deux lieues de rayon autour de la mine « comme centre; on facilitait la vente du sel, du soufre et de la poudre; les « forêts de l'État fournissaient les bois dont la marine royale pouvait se dis- « penser; une garnison d'invalides devait protéger les travaux, etc., etc. » Enfin, Charles III, ne voulant négliger aucun des moyens d'encouragement, rendit, en 1783, son fils lui-même, l'infant don Gabriel, propriétaire de deux concessions.

Le succès se faisant attendre, les décrets réformant, expliquant, complétant, se succèdent avec rapidité. De 1785 à 1794, il ne se promulgue pas moins de six lois ou ordonnances sur la matière, toutes ayant pour but d'affranchir l'exploitation des houilles et de faciliter leur commerce. Sous les règnes de Charles III et de Charles IV, son successeur, l'État conserve à peine une autorité nominale. Cette préoccupation des souverains ne produisit pas seulement les règlements auxquels nous avons fait allusion, elle se traduisit par des actes plus caractéristiques. En 1789, un homme d'État, économiste illustre, Jovellanos, partait pour la principauté des Asturies, chargé d'y encourager le commerce du charbon de pierre et d'étudier sur place toutes les mesures qui pourraient lui être favorables. Comme l'exploitation, momentanément facile, devait présenter plus tard des difficultés prévues, il se crée une école où l'on apprend la science du mineur. En 1791, l'ingénieur de marine Casado de Torres est envoyé dans les provinces du nord pour compléter les études de l'économiste qui l'avait précédé et mettre en œuvre les travaux décidés; il se dépense 2,400,000 fr. pour canaliser la rivière du Nalon, on établit des fours à coke à Langreo, on construit une fabrique d'armes à Trubia. De toutes ces tentatives il résulte que, en 1797, la marine qui avait espéré obtenir du charbon à des prix médiocres, le payait 83 fr. la tonne, qu'elle pouvait à peine compter sur une fourniture régulière de 3,000 tonnes, et que les fours à coke de Langreo n'avaient pu rien produire.

Vers cette époque, soit entre 1790 et 1799, le bassin houiller d'Espiel, situé dans la province de Cordoue, attira l'attention de l'établissement

métallurgique d'Almaden; il y pratiqua quelques travaux pour en extraire environ 500 tonnes de combustible; ce combustible transporté à Almaden coûta 72 fr. la tonne, l'exploitation en fut abandonnée. Les paysans s'emparèrent des boisages et détruisirent les installations, c'est à peine si les affleurements continuèrent à alimenter les forges villageoises environnantes.

Pour en finir avec l'historique de ces essais, je dirai que, vers la fin du dix-huitième siècle, une verrerie fonctionnant à Utrillas, dans la province de Teruel, utilisa des combustibles minéraux qui existaient dans les environs de l'établissement. C'étaient des Allemands qui dirigeaient l'usine, et bien qu'ils semblent avoir trouvé dans l'application de ces charbons une source de bénéfices abondants, la consommation ne s'éleva jamais au-dessus de 1,800 tonnes.

Il n'y eut pas de progrès faits, le mouvement de production se ralentit au lieu de s'activer. Les mines de Villa-Nueva, divisées en petites concessions, furent à peu près les seules qui continuèrent à s'exploiter tant bien que mal. En 1803 le gouvernement voulut leur venir en aide, et il modifia la réglementation; mais, soit que les capitaux aient manqué, soit que la guerre de l'indépendance détournant l'attention des Espagnols ait complété la ruine de la petite industrie qui s'était créée dans cette localité, en 1815 il restait à peine trace des travaux. La compagnie de navigation sur le Guadalquivir obtint alors une nouvelle concession des mines de Villa-Nueva del Rio.

Cette série d'efforts tentés pendant la dernière moitié du dix-huitième siècle prouve combien le gouvernement espagnol agissait de bonne foi, lorsqu'il essayait de développer le commerce et la production d'une matière qui allait prendre la première place dans les besoins de la société. On s'intéresse malgré soi à cette législation instable qui, sans craindre de se déjuger, arrive, en 1792, à établir la liberté la plus absolue en faveur des propriétaires de terrains houillers. Et n'est-il pas curieux de remarquer qu'un système qui a produit des effets si merveilleux en Angleterre, n'ait occasionné que des désastres dans la Péninsule, où il a été en vigueur pendant trente-cinq ans, jusqu'en 1825, tant il est vrai que parfois les circonstances locales jouent un rôle prédominant.

Lorsque, à la date dont nous venons de parler, en 1825, une nouvelle législation vint régir l'industrie minière, il se manifesta un changement subit dans le commerce du charbon de pierre. En 1828, le port de Gijon, situé sur la côte de l'Océan cantabrique, voyait son exportation s'élever à 4,000 tonnes, pour atteindre le chiffre de 23,000 tonnes en 1843, malgré tous les contre-temps qui étaient survenus, car la guerre civile qui ravageait alors les provinces du nord de l'Espagne créait une situation déplorable pour le développement industriel de cette contrée. A peine revint la tranquillité que l'attention du pays se porta vivement sur les richesses contenues dans les entrailles de la terre. De 1849 à 1861 on s'adonna

à la découverte des mines avec une ardeur fébrile. Pendant ces douze années le comité consultatif créé à Madrid par la loi de 1825 eut à statuer sur 9,100 demandes de concession de mines; sur ce nombre 1,001 demandes concernaient le combustible minéral et correspondaient à une étendue de 30,500 hectares, soit 30^{hs},50 par concession, réparties comme l'indique le tableau suivant :

CONCESSIONS DE COMBUSTIBLE MINÉRAL DE 1849 A 1861.

PROVINCES.	HOUILLE.		LIGNITE.		ANTHRACITE.		TOTAL.	
	Nombres.	Surfaces.	Nombres.	Surfaces.	Nombres.	Surfaces.	Nombres.	Surfaces.
Oviedo.....	438	117,031,914	»	»	»	»	438	117,031,914
Barcelone.....	»	»	109	37,461,871	»	»	109	37,461,871
Leon.....	116	36,389,607	1	503,604	»	»	117	36,893,211
Palencia.....	85	29,614,784	»	»	»	»	85	29,714,684
Burgos.....	27	12,915,876	4	1,809,192	»	»	31	14,725,068
Cordoue.....	31	19,648,188	»	»	»	»	31	19,648,188
Logroño.....	»	»	24	8,300,556	»	»	24	8,300,556
Teruel.....	»	»	22	7,797,492	»	»	22	7,797,492
Gerone.....	13	3,691,968	1	1,557,660	»	»	14	5,249,628
Zaragosse.....	»	»	15	4,847,214	»	»	15	4,847,214
Lerida.....	»	»	12	4,234,122	»	»	12	4,234,188
Guipuzcoa.....	»	»	2	503,064	14	3,018,384	16	3,521,448
Alava.....	»	»	9	2,938,022	»	»	9	2,938,022
Soria.....	4	1,106,128	6	1,257,660	»	»	10	2,263,788
Huesca.....	»	»	7	2,263,788	»	»	7	2,263,788
Grenade.....	»	»	6	1,857,660	»	»	6	1,857,660
Malaga.....	»	»	7	1,857,860	»	»	7	1,857,860
Castellon.....	»	»	6	1,844,568	»	»	6	1,844,568
Badajoz.....	»	»	3	1,451,532	»	»	3	1,451,532
Guadalajarra.....	»	»	5	1,383,426	»	»	5	1,383,426
Guenca.....	3	1,306,128	»	»	»	»	3	1,306,128
Valence.....	»	»	4	1,054,596	»	»	4	1,054,596
Baléares.....	»	»	4	1,054,596	»	»	4	1,054,596
Almerie.....	»	»	4	1,048,050	»	»	4	1,048,050
Murcie.....	»	»	3	904,596	»	»	3	904,596
Albaceto.....	»	»	2	880,362	»	»	2	880,362
Santander.....	»	»	4	754,596	»	»	4	754,596
Seville.....	4	675,213	»	»	»	»	4	675,213
Alicante.....	»	»	3	628,830	»	»	3	628,830
Madrid.....	»	»	1	503,064	»	»	1	503,064
Biscaie.....	»	»	1	125,764	»	»	1	125,764
Navarre.....	»	»	1	125,764	»	»	1	125,764
Totaux.....	721	213,373,706	266	88,949,309	14	3,018,384	1,001	305,347,399

Il existait quelques concessions avant 1849, dans les provinces de Séville et d'Oviedo notamment, mais le territoire espagnol n'en renfermait pour ainsi dire point d'autres. Si l'on veut remarquer que, dans cette fureur de découvertes, bon nombre de pétitionnaires se trouvaient sans capitaux pour exploiter des concessions, toutes fort mal reconnues, on s'apercevra que les déchéances ont dû venir compenser ce qui existait déjà et ce qui a dû s'ajouter depuis cette époque. En somme, la statistique précédente donnerait une approximation acceptable des concessions accordées jusqu'à nos jours sur le terrain carbonifère.

D'après le tableau ci-dessus, on voit que la houille occupe 69,88 p. 100 des terrains concédés ; la lignite en occupe 29,13 p. 100 et l'anthracite 0,98 p. 100. Sur une pareille surface, la production maximum a été, en 1860, de 202,115 tonnes. Il est bon de comparer ici cette production à celle qui a été obtenue en divers pays pendant la même année :

L'Angleterre a fourni		80,042,698[1]
La Prusse	id.	13,310,020
La Belgique	id.	9,606,720
La France	id.	8,300,000
L'Espagne[1]	id.	202,115

On peut maintenant se faire une idée de l'historique de l'exploitation du combustible en Espagne.

III

Ressources en combustible de l'Espagne. — Par delà les Pyrénées, l'amour-propre national s'inquiète peu de l'importance des chiffres et du rôle qu'ils jouent dans la solution des questions industrielles. Nos voisins n'aiment pas, en général, à venir se heurter contre des calculs qui dérangeraient leur parti pris et troubleraient leurs illusions. Plus facilement que tout autre, le peuple espagnol prend sous sa tutelle et transforme en axiome telle assertion qui lui plaît, sans approfondir le degré d'exactitude qu'elle présente. C'est à une pareille tendance des esprits que la presse madrilène doit d'en être arrivée à se convaincre que de tous les États européens, l'Angleterre exceptée, l'Espagne est la contrée qui renferme le plus de richesses en combustible minéral, opinion qui a trouvé de l'écho parmi les hommes du métier et les députés au parlement.

On a adopté une entrée en matière pour s'occuper de la question qui est devenue « *une manie,* » suivant M. Aldana : « *Notre pays est après « l'Angleterre celui qui renferme les plus riches bassins houillers, comment se « fait-il que la production y soit si restreinte?* » Les publicistes, les hommes d'État, partant de cette affirmation, se rejettent sur l'indifférence du gouvernement et se plaignent des voies de communication. Personne ne veut s'apercevoir que l'État a été presque seul jusqu'ici à manifester un intérêt bien ou mal entendu pour cette production, et que les dépôts les plus abondants sont situés sur la côte de l'Océan cantabrique, auquel ils sont reliés par le chemin de fer de Langreo à Gijon. En 1785, nous l'avons vu, Charles III parle *de l'abondance du charbon de pierre qui existe en ses États;* en 1837, un décret royal fait espérer que, *vu la richesse des gise-*

1. D'après M. Burat, l'Espagne serait, après la Russie et la Turquie, le pays où l'on extrait le moins de houille en Europe.

ments, les routes terminées, la houille espagnole transportée en lest pourra lutter avec avantage sur les marchés de la Grande-Bretagne. Examinons sur quelles données peuvent reposer de semblables prétentions.

Lorsque l'on veut établir la richesse en combustible d'un pays, il faut rechercher d'abord l'étendue des gisements carbonifères, leur puissance utilisable et la nature du charbon. La statistique officielle manque ici, et tandis que M. Burat estimait, en 1860, que l'Espagne possédait 100,000 hectares de terrain houiller, la *Revista peninsular* de 1862 élevait ce chiffre jusqu'à 906,000 hectares. Laissons de côté des appréciations qui présentent de telles anomalies et adoptons comme base de la discussion le tableau donné, en 1855, par la *Revue des mines* de Madrid qui élevait ce total à 235,600 hectares répartis comme suit :

PROVINCES.	HECTARES.	POIDS en millions de tonnes.	PRIX à la mine.	OBSERVATIONS.
			fr.	fr.
Asturies. Commerce.....	61.605	1.000	5 24	14 50 au port.
Id. Industrie locale..	61.605	100	7 80	10 40 à l'usine.
Léon et Palencia. Commerce.	30.802	500	5 26	13 sur lieux de consommation.
Id. Industrie locale..	30.802	50	9 10	10 40 id.
Burgos et Soria.....	15.401	100	7 20	13 00 id.
Ternel.....	13.860	220	6 50	18 20 au bord de l'Ebre.
Gerone.....	3.080	23	5 26	22 10 à Barcelone.
Cuenca.....	3.080	20	7 20	41 60 à Madrid.
Cordoue.....	12.324	220	6 50	18 00 à Cordoue.
Séville.....	3.080	20	13 50	20 80 à Séville.
Total.....	235.629	2.253	7 28	Prix moyen.

Pour compléter ce tableau, l'article dont nous nous occupons arrivait à établir la comparaison des houilles espagnoles avec les houilles les plus connues de l'Europe, et il en résultait que :

En Angleterre la houille donnait	70	0/0	en coke,	5	0/0	en cendres et se vendait	7f30 la t.[1].
En Belgique	—	66	—	4 1/2	—	—	13f00
En Prusse	—	65	—	4 1/2	—	—	7f80
En Espagne	—	66	—	4 1/2	—	—	7f28

Ainsi les houilles espagnoles paraîtraient abondantes, de bonne qualité, et leur prix se trouverait minime En 1860, M. Guillaume Schultz, inspecteur général des mines, s'appuyant sur ce chiffre, donna la carte houillère de la Péninsule.

Si nous admettons avec M. Schultz une étendue de 235,639 hectares pour les bassins houillers, nous voyons que pour produire l'approvisionnement de 2,253 millions de tonnes, il suffit d'une couche générale de

1. Pris sur le carreau de la mine.

0m,72 à 0m,73 d'épaisseur au poids spécifique de 1,320 kil. Cette observation est de nature à dissiper quelques rêves. Mais dans ce tableau, il est question pour les provinces des Asturies, de Léon et de Palencia d'une étendue de 98,407 hectares, contenant 150,000,000 tonnes destinées à l'industrie locale. Or, ce poids étant représenté par une couche générale de 0m,11, qui ne peut évidemment être exploitée, est destiné à rester stérile; cette surface ne saurait entrer dans le calcul des bassins houillers. Quant aux 13,860 hectares qui se trouvent dans la province de Teruel, M. de Aldana, qui a spécialement étudié cette province, affirme que le combustible extrait des mines d'Utrillas ne peut en aucun cas donner du coke; lorsqu'on le distille, il donne un résidu de 46 p. 100 de charbon, et sa puissance calorifique correspond à 4,900 calories. Ce ne sont point là les caractères de la houille ou tout au moins ils désigneraient une houille fort médiocre. Les prix fournis par M. Schultz demandent aussi quelques corrections, car on ne les retrouve sur aucun prix courant du temps. Si l'on adoptait les modifications indiquées dans la surface et que l'on fît le relevé des prix courants pour 1862, on arriverait à transformer le tableau précédent comme ci-dessous :

PROVINCES.	SURFACES en hectares.	EXISTENCE en millions de tonnes.	PRIX à la mine.	OBSERVATIONS.
			fr.	
Asturies.....	62.000	1.000	11 00	
Léon et Palencia...	31.000	500	14 00	
Burgos et Soria...	15.500	100	60 00	Ce prix ne doit pas entrer dans la moyenne.
Cordoue.....	12.400	220	17 00	
Séville.....	3.100	20	14 00	
Gerono.....	3.000	23	17 00	
Cuenca.....	3.000	20	»	
Total.....	130.000	1.883	14 00	Prix moyen.

Bien que ce tableau diffère de celui donné par la *Revue des mines*, en ce qui concerne les prix surtout, je crois cependant que c'est celui qui jusqu'aujourd'hui offre le plus de garanties. Je sais que les chiffres qu'il renferme ne concorderont pas avec ceux que donnent divers ingénieurs des mines du gouvernement espagnol; mais je sais aussi qu'au lieu de réfuter les données de M. de Aldana, le corps auquel il appartient s'est contenté de lui reprocher comme un manque de civisme les résultats qu'il a été conduit à énoncer à la suite de ses profondes études. Il a donc fallu un certain courage à l'ingénieur dont nous parlons pour combattre les préventions de ses collègues, et pour arriver à détruire par ses calculs une partie des travaux de M. Schultz, un inspecteur général du corps jouissant d'un grande réputation, fort bien acquise d'ailleurs. Il ne faut pas oublier combien l'exactitude de la statistique est difficile à obtenir

en Espagne; et cependant M. de Aldana, en donnant le chiffre de 14 fr. comme prix moyen de la houille en 1862, se rapproche beaucoup du prix de 14f,30 donné après lui par la statistique officielle, qui se publie par les soins de la direction générale de l'industrie et du commerce.

De ce qui précède, je conclus que l'Espagne, sur une surface totale de 50,700,000 hectares, possède 18,835,000,000 tonnes de houille répandue en sept bassins d'une étendue de 130,000 hectares. D'après ce que nous connaissons, ces chiffres lui attribuent le cinquième rang dans les États européens, qui se classent comme il suit :

Angleterre.....	1,570,000	hectares.
Prusse.....	300,000	
Belgique.....	150,000	
France.....	350,000	
Espagne.....	130,000	
Autriche.....	120,000	
Russie probablement.....	220,000	et plus dans toutes ses possessions.

Si de la théorie nous passons à la pratique, nous voyons que, en 1861, il existait 721 concessions de mines de houille comprenant une surface de 21,300 hectares. En 1862, il n'y avait encore que 244 concessions productives exploitant 9,383 hectares et employant 6,300 ouvriers.

La monarchie espagnole qui ne possède que 7 gisements houillers en contient jusqu'à 25 de lignites dont l'étendue doit être évaluée à 150,000 hectares. Ce combustible, fort utile parfois, n'en reste pas moins d'une importance secondaire. Il a été livré sur ces terrains 266 concessions d'une étendue de 8,900 hectares, sur lesquelles 31 concessions étaient exploitées en 1862, occupant 1,974 hectares; 400 ouvriers employés à ce travail ont produit 3,400 tonnes de combustible. L'exploitation de l'anthracite n'a rien produit ou du moins n'a donné que des résultats insignifiants.

En résumé, l'Espagne possède 280,000 hectares de terrains carbonifères de toute nature; sur cela, 30,500 hectares seulement ont été concédés, 10,773 sont exploités par 6,700 ouvriers, et produiraient un poids de 390,000 tonnes de combustible.

Si maintenant nous comparons le produit à la surface des bassins, nous verrons qu'en Espagne chaque hectare de terrain houiller donne 1f,400, que ce chiffre s'élève en France à 23f,00, et il est encore fort bas relativement. Le résultat de cette comparaison s'améliorera sans doute à mesure que des circonstances nouvelles se présenteront, mais ces améliorations seront encore très-lentes. Voici un calcul qui, sous une autre forme, peut faire apprécier la richesse houillère de l'Espagne. On évalue que le monde entier possède un approvisionnement connu de 4,500,000 millions de tonnes de houille : si la consommation totale était de 150,000,000 tonnes par an, elle a été de 125,000,000 en 1850, nous

aurions encore du combustible pour 30,000 années; sur cette période, l'Espagne ne compterait que pour 13 années au maximum. Il est vrai que la Péninsule suffisant à une consommation double de celle qui y existe, fournirait pendant 900 ans, et ce temps suffira probablement pour étudier la question.

Après avoir ainsi établi, comme je viens de le faire, le bilan de la richesse houillère en Espagne, il me reste à donner le tableau de la production par province, avant d'arriver à discuter les causes qui ont pu en entraver le développement.

PROVINCES.	HOUILLE.	LIGNITE.	OBSERVATIONS.
	tonnes.	tonnes.	
Barcelone.....	»	8.590	Les résultats ne sont guère modifiés depuis 1862, et dans les provinces de Burgos et de Séville seulement.
Gerone.....	2.111	»	
Lerida.....	»	50	
Burgos.....	2.578	»	
Logroño.....	»	827	
Palencia.....	65.560	»	
Cordoue.....	11.071	»	
Séville.....	4.002	»	
Oviedo.....	270.751	»	Ce chiffre doit être erroné dans la statistique officielle.
Alicante.....	»	957	
Alava.....	»	5.330	
Guipuzcva.....	»	9.740	
Léon.....	4.170	»	
Teruel.....	»	4.000	
Total.....	360.243	30.494	
	30.494		
	390.737	.....	Production totale du charbon de pierre.

Cette production est assurément fort modeste; elle ne peut cependant être admise comme exacte, car de 1860, année pendant laquelle elle fut de 202,100 tonnes, en y comprenant encore 6,000 tonnes d'anthracite, elle se serait élevée, en 1862, à 390,700 tonnes : cet accroissement est impossible pendant ces deux années. Il est arrivé parfois que la statistique officielle a commis l'erreur de prendre des quintaux castillans pour des quintaux métriques, dans la province d'Oviedo notamment. C'est probablement une erreur de ce genre qui aura été commise; en corrigeant cette erreur et admettant encore une production de 6,000 tonnes d'anthracite, on arrivera à établir que l'Espagne a produit 250,500 tonnes de combustible en 1862, lorsque, pendant la même année, elle en consommait 1,000,000 tonnes, la production se trouve donc être sensiblement 25 p. 0/0 de la consommation. On peut assurer que cette proportion ne s'est pas maintenue, les besoins se sont accrus avec plus de rapidité que les ressources, et plus que jamais le public espagnol devra se demander : *Comment se fait-il que notre production soit si restreinte?*

IV

DES CAUSES QUI ONT DU S'OPPOSER AU DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE HOUILLÈRE EN ESPAGNE.—Le gouvernement espagnol n'a jamais méconnu l'importance que devait avoir pour la Péninsule, un pays métallurgique par excellence, l'accroissement de la production houillère; mais son bon vouloir est venu se briser devant des obstacles qu'il lui eût été possible de prévoir, et auxquels il eût pu souvent remédier. Ce n'est point la réglementation qui a fait défaut; les gouvernants du XIX^e^ siècle ont imité ceux de la fin du XVIII^e^; ce qui a fait défaut, c'est la connaissance de la matière à réglementer. Pour bien établir la base de toute discussion, il eût fallu dresser une statistique raisonnée des gisements; dans une enquête sérieuse, il eût fallu étudier les circonstances locales et analyser avec soin les résultats des mesures adoptées jusque-là. Ces préliminaires ont paru inutiles; les législateurs, acceptant des données douteuses, ont argumenté sur des généralités d'école, et les discussions sont restées stériles. On pourrait affirmer que les faibles progrès qui ont été obtenus sont dus à la force des choses et se sont réalisés malgré les organisations diverses qui se sont succédé. Parmi les causes qui se sont opposées au développement de l'industrie houillère en Espagne, il faut distinguer les causes apparentes des causes réelles, c'est dans une analyse de ce genre que l'on sent combien serait utile la statistique dont je parlais, car les chiffres jouent ici un rôle décisif.

Le terrain houiller est distribué d'une façon désavantageuse sur la surface de la Péninsule, cela n'est pas douteux. Nous avons vu qu'il n'existe que sept gisements, et presque tous sont situés dans des régions abruptes et désertes, comme le sont la chaîne des Asturies, la sierra Morena et les monts de Castille, régions dans lesquelles les transports présentent de sérieuses difficultés, car il n'existe que quelques mauvaises routes et généralement on ne doit pas compter sur les voies navigables. Les couches de combustible, au lieu de se présenter dans une position voisine de l'horizontale, se relèvent en forme *de fond de bateau*, et cette disposition, favorable aux débuts d'une exploitation, impose des sacrifices notables dès que l'on est obligé d'avoir recours à des galeries.

Pour que les gisements péninsulaires puissent avantageusement être exploités, il faut donc obvier aux obstacles naturels par une organisation rationnelle qui attire de puissants capitaux ; il faut enfin, pour que l'industrie houillère devienne florissante, qu'elle rende des services au pays. Rien n'est moins rationnel que le régime en vigueur : aussi les capitaux se sont-ils abstenus, et, loin de rendre des services au pays, les charbonniers, par leurs exigences, ont semblé jusqu'ici s'opposer au développement de la richesse publique.

Les législateurs et les économistes espagnols qui ont eu à s'occuper de l'organisation de l'industrie houillère, paraissent avoir été obsédés par le spectre du monopole. Ils le voyaient se dresser devant leurs yeux, et, voulant lui échapper à tout prix, ils sont arrivés au chaos par un déplorable morcellement de la propriété minière; ils ont si bien facilité l'exploitation, qu'elle est devenue, pour ainsi dire, impossible.

Nous avons vu qu'à la fin du XVIII[e] siècle il se promulgua six lois ou décrets en quelques années; de 1855 à 1859 nous trouvons quatre nouvelles lois sur la réglementation des mines de charbon de pierre. Dans la première, chaque concession peut, au maximum, se composer de quatre lots (*pertenencias*) de 1[h]39[a], soit 5[h]56[a] comme surface totale; quelques années après le lot est porté à 4[h]19[a]. Enfin, progressivement, on arrive à fixer la surface du lot à 15 hectares, admettant 8 lots dans une concession; la même loi autorisa le groupement des concessions et permit ainsi la grande exploitation, toutefois il fallut encore conserver les divisions.

Malgré cette tendance de la loi à faire disparaître un système de morcellement reconnu vicieux, en pratique on retrouve des priviléges s'étendant à une surface de 8 hectares. De pareils concessionnaires, s'ils eussent exploité, devenaient à coup sûr des voisins incommodes, contre les envahissements desquels il était difficile de se garder.

La facilité avec laquelle ont été accueillies les demandes a produit le chiffre énorme que nous connaissons déjà : il existe 1001 concessions de mines de charbon sur 30,508 hectares de surface!... Tandis que, en Espagne, chaque possession comprend une moyenne de 30[h]50[a];

En Angleterre chaque concession est en moyenne de			522 hectares.
En Belgique	—	—	413
En Prusse	—	—	321
En France	—	—	1066

En continuant le système adopté jusqu'ici, l'Espagne arriverait au nombre de 9,100 concessions, dès qu'elle aurait livré les 230,000 hectares de terrain carbonifère qu'elle possède, c'est-à-dire que l'exploitation deviendrait impossible parce que les bénéfices se trouveraient absorbés par les dépenses d'une administration aussi compliquée que coûteuse. On peut admettre que les choses n'en viendront point là, mais on peut affirmer que, si même le gouvernement ne se départit jamais d'une juste rigueur, le chiffre des concessions de houilles s'élèvera à 1,700, celui des concessions de lignite atteindra 1,800, au total 3,500; la surface moyenne étant alors de 80 hectares, les conditions économiques ne s'en trouveront guère améliorées.

En Espagne tout le monde se croit à peu près apte à diriger une exploitation de mines. Un individu fouille quelques mètres de terre, il va déclarer sa mine sur papier timbré, et, après avoir déposé un cautionnement de 78 fr., le voilà propriétaire dirigeant une exploitation. Il est vrai que, les préliminaires accomplis, nul ne s'occupe de ces décla-

rations jusqu'au jour où il se présente un acquéreur, si le hasard vient donner de l'importance à la découverte. Le cahier des charges a beau menacer de déchéance, il y a toujours moyen de l'éluder, et l'administration se soucie fort peu elle-même des conditions qu'elle impose. Cela est si vrai que sur les 721 concessions de houille existantes il n'y en a pas plus de 300 d'une validité incontestable. Les diverses dispositions de la loi restent toutes également lettre morte. Ainsi, chaque exploitation de combustible devrait être à la charge d'un ingénieur responsable; mais voilà que le gouvernement, voulant favoriser les petits producteurs, les délivre de cette obligation si la mine est destinée à approvisionner la consommation locale. Le propriétaire établit le fait par sa simple déclaration. Il en résulte qu'il n'y a guère que des exploitations alimentant des besoins locaux qui n'existent généralement pas en Espagne. Cela se passe assurément ainsi, puisqu'il n'y a pas au delà de 12 ingénieurs attachés aux exploitations des houillères de la Péninsule, et il est impossible qu'il n'en soit pas ainsi; l'Espagne, pour satisfaire à la loi, devrait posséder plus de 1,000 ingénieurs de mines exclusivement occupés des charbonnages. Ce fait à lui seul établirait l'absurdité du système de morcellement.

Le gouvernement espagnol aurait évité une telle situation s'il eût consenti à s'éclairer un peu plus des lumières du corps des ingénieurs qu'il possède; mais en y regardant de près on s'aperçoit que ceux-ci sont traités tout aussi cavalièrement que les intérêts qui leur sont confiés. Jusqu'à ce jour, le comité consultatif n'a pu obtenir que la direction générale de l'industrie, dont il dépend, confiât la division des mines à un ingénieur. C'est un homme politique qui, secondé d'un garde-mine, est chargé d'apprécier les rapports et les projets des ingénieurs de province arrivant au ministère. Est-il étonnant que ces rapports et ces projets aillent grossir sans résultats profitables les archives où ils s'enfouissent? Un fait d'une autre nature montrera là singulière façon dont l'État traite ses intérêts miniers. Tout le monde connaît la richesse proverbiale des gisements d'Almaden, de Rio-Tinto et de Linares; croirait-on que dans ces établissements, exclusivement techniques, l'homme du métier ne se trouve que par accident? Le département des finances, auquel se rattachent ces exploitations, y appelle les ingénieurs en commission; mais leur rôle est là d'un ordre si secondaire que rarement on les voit oser lutter contre les comptables qu'on leur donne, et si cela leur arrive, la science peut se tenir pour certaine qu'on lui signifiera son congé. Après cela faut-il s'étonner que le produit brut des mines de l'État ne s'élève pas à plus de 7,250,000 fr.[1], d'où il y aurait à déduire le salaire de 3,400 ouvriers, les frais de surveillance, d'administration et de direction, les dépenses occasionnées par l'exploitation, le combustible et l'intérêt à 5 p. 100

1. Le produit des salines de l'État n'est pas compris dans ce chiffre.

du capital des frais d'établissement? On arriverait à cette conclusion que les bénéfices sont presque nuls, et que l'État perd l'intérêt du capital énorme que représentent ces mines. En présence de faits semblables, la mauvaise organisation de l'exploitation houillère devient toute naturelle.

L'effet le plus pernicieux qu'ait pu produire un système aussi erroné que celui dont nous nous occupons, a été d'éloigner les capitaux de cette industrie, les chances de bénéfices n'étant nullement en rapport avec les charges. On a compris la facilité qui existe en Espagne pour devenir propriétaire des mines : il suffit au résumé de débourser 150 fr. Mais cette concession acquise et stérile devient un objet de spéculation ; s'il s'agit de racheter du terrain houiller inexploité et sur lequel il n'existe même pas trace de travaux, on a vu les premiers propriétaires arriver à les faire payer à raison de 5,200 fr. les 15 hectares. Les capitaux, divisés à l'infini, eussent été absorbés par toutes ces petites administrations et par les achats de terrains; ils se sont abstenus. On est frappé de l'insignifiance des frais de premier établissement faits jusqu'à ce jour.

En ne tenant pas compte de la correction que nous avons fait subir aux chiffres de la statistique, et adoptant le prix moyen de chaque province, on voit que les 360,000 tonnes de houille produites dans l'année 1862 représenteraient une valeur de 4,390,000 fr. Il va nous être facile de calculer les dépenses correspondant à la même année pour cette production, et par simple différence nous obtiendrons l'intérêt du capital immobilisé.

Main-d'œuvre : 6,300 ouvriers à 1f 70 (1) pour 300 journées.....	3,213,000 f.
Contributions : 21,337 hectares à 4f 98 chacun.....	106,250
Administration, direction et surveillance pour 240 concessions exploitées.	250,000
Éclairage et ventilation.....	40,000
Outillage et divers.....	60,000
Épuisements, consolidations, extraction, etc.....	100,000
Total.....	3,769,250

Il est évident qu'il a été fait une part pour les bénéfices dans la vente, et cette part, fixée à 1 fr. la tonne, est fort modeste; donc on arriverait à établir approximativement que la dépense annuelle est de 4,129,250 fr. La recette étant de 4,390,000 fr., la différence 260,750 fr. représenterait l'intérêt du capital dépensé en achats de concession et frais de premier établissement, soit 5,215,000 fr. pour 21,300 hectares de terrain concédé, dont 9,400 sont en rapport, 245 fr. par hectare concédé. Ce chiffre si restreint ne paraît nullement étonner les Espagnols, car M. de Aldana a eu l'occasion d'informer sur deux projets dans lesquels il trouva ce qui suit : le premier se proposait d'exploiter un groupe de 400 hectares, et calculait que les dépenses du puits, de l'outillage et de 600 mètres de

1. Ce prix est un minimum plutôt au-dessous qu'au-dessus de la réalité.

voie, ne s'élèverait pas au-dessus de 56,000 fr., sans compter l'achat de terrain, les machines, les magasins et les diverses constructions; le deuxième admettait qu'un capital de 5,720,000 fr. suffirait pour exploiter 12,000 hectares. Ces calculs viendraient concorder avec celui d'après lequel nous avons vu que 5,200,000 fr. ont été dépensés tout au plus pour les 9,400 hectares exploités.

Depuis 1862, quelques sociétés, françaises surtout, ont dû élever ce capital, beaucoup moins d'ailleurs qu'on ne serait tenté de le croire. Dans tous les cas, quelques efforts isolés de MM. Pereire, Guillou et autres, ne détruisent pas la portée de cette assertion, que le capital a fait défaut pour les frais de premier établissement, et que par suite la production ne saurait s'accroître comme cela serait à désirer. On exploite le plus possible les affleurements sans préparer l'avenir. Tandis qu'en France il se dépense à peu près 1,500 fr. par hectare, qu'en Belgique cette somme s'élève à 7,508 fr.; en Espagne, dans des conditions plus défavorables, on n'arrive pas à dépasser 500 fr. par hectare exploité.

En résumé, les bassins houillers de l'Espagne, peu étendus et généralement mal disposés, se trouvent soumis à une législation qui divise, paralyse le travail, et éloigne le concours des capitaux. Les économistes de la Péninsule, au lieu de s'arrêter à étudier les causes réelles qui s'opposent au développement de l'industrie houillère, paraissent convaincus que cette stagnation est due exclusivement au manque de voies de transport. C'est là ce que j'appelle s'arrêter relativement à une cause apparente, comme les faits viennent le prouver.

Le bassin des Asturies, en partie situé à proximité de l'Océan, lui est relié par un chemin de fer qui de Sama de Langreo aboutit au port de Gigon; rien ne serait plus facile que de régulariser les embarquements sur cette côte. Les charbons asturiens, au moins ceux qui proviennent des mines de Langreo, devraient donc alimenter tous les marchés du littoral espagnol; ils devraient approvisionner la navigation et les chemins de fer à Vigo, à Cadix, à Alicante et à Valencia; ils devraient pourvoir aux besoins des industries andalouses et catalanes. En réalité, la province d'Oviedo exporte 70,000 tonnes vers Saint-Sébastien, Bilbao, Santander, et quelques autres ports dans lesquels le charbon anglais obtient encore un vaste débouché :

	Anglais.	Asturiens.	
A Barcelone on vend les diverses qualités aux prix suivants..	46 f	47 f	Ces prix sont la moyenne des diverses qualités.
A Alicante	34 70	34 85	
A Carthagène	38 00	45 70	
A Malaga	38 60	38 30	
A Cadix	34 90	34 10	
A Vigo	34 10	33 40	

Les prix précédents montrent que, quoique les charbons asturiens, provenant de Langreo, n'aient à supporter que 39 kilomètres de trans-

port en chemin de fer, et que la navigation leur offre un puissant moyen d'expansion, ils ne peuvent lutter contre les houilles anglaises qui, supportant un droit d'entrée, offrent des qualités fort supérieures à l'acheteur et sont préférées à prix plus élevés.

Les mines de Villa Nueva del Rio, situées à 35 kil. de Séville, ont pour transporter les houilles la navigation du Guadalquivir et le chemin de fer de Cordoue à Séville ; elles produisent à peine 500 tonnes pour le commerce; encore une partie des concessions appartient-elle à MM. Pereire, qui sont assurément intéressés à accroître le transit sur leur chemin de fer et par conséquent à produire. Malgré cette situation exceptionnellement favorable, les houilles anglaises viennent sur le marché de Séville, qu'elles occupent exclusivement au prix de 35 fr. la tonne[1]. Les voies de communication ne manquent pas absolument dans les deux cas que nous venons de citer; elles sont imparfaites, je le reconnais; mais si la production ne s'accroît pas, ce n'est point que les moyens d'exportation ne soient suffisants pour la doubler et la tripler au besoin. Dans les provinces de Leon et de Valencia s'exploitent les bassins de Valderueda et de Barruelos; le chemin du nord de l'Espagne leur sert de débouché, et, malgré les nombreuses tentatives faites jusqu'ici, on n'a pu présenter leurs charbons sur le marché de la capitale à des prix qui fissent reculer le charbon anglais. En définitive, ces deux bassins ne produisent réunis que 65,000 tonnes. C'est donc bien s'arrêter aux apparences que d'imputer la faible production de houille en Espagne au manque de moyens de transport. Sans doute les moyens de transport manquent en général, mais les propriétaires de charbonnages ont-ils fait des sacrifices pour les créer?

La production se fût-elle considérablement accrue si on eût eu à sa disposition tous les moyens de transport que l'on eût pu désirer? Cela n'est pas probable, car alors les consommateurs eussent fait défaut. Les chemins de fer jouissant du droit de franchise, on ne doit pas espérer que la locomotive brûle une grande quantité de houille espagnole, ce serait là un plaisir trop coûteux. Quant aux industries qui pourraient s'en servir, elles se trouvent aujourd'hui dans l'état le plus critique, à cause des prix du combustible, naturellement élevés; elles se voient en outre obligées, pour leurs transports en chemin de fer, de se soumettre à des tarifs variant entre 0^{f},078 et 0^{f},13 par tonne et par kilomètre, les tarifs les plus élevés étant les plus généralement adoptés. L'exploitation de la houille eût pu devenir florissante si elle eût été un intérêt public; elle est restée une calamité, grâce à la protection de 12 fr. la tonne que lui accorde le gouvernement. Les forges de Malaga et de Catalogne languissent, les établissements métallurgiques des provinces de Jaen, Murcie et Almérie restreignent leurs opérations, et la plupart d'entre eux se servent de charbons anglais. Il est évident que si la houille arrivait

1. La houille de Villa Nueva se vend 32 fr. la tonne à Séville.

sur les lieux de consommation à un prix moins élevé, les capitalistes et les mineurs développeraient les opérations métallurgiques et créeraient un mouvement industriel qui assurerait un débouché n'existant pas aujourd'hui, et ne pouvant même exister tant qu'il sera plus avantageux de vendre les minerais à Swansea ou à Marseille que de les traiter. Il faudrait pour arriver à ce résultat se départir du système protectionniste; or, en Espagne, tout le monde veut être protégé : les agriculteurs, les forgerons, les catalans, les charbonniers; pour satisfaire à ce besoin de protection, le gouvernement maintient ses tarifs sans se rendre compte du résultat d'un pareil système sur la richesse publique. M. de Aldana, dans la brochure qui nous a servi de guide, a rendu saisissantes les erreurs auxquelles on se trouve entraîné lorsque l'on gêne ainsi les développements naturels; mais M. de Aldana est un homme dangereux pour l'industriel espagnol; c'est un libre-échangiste dont les études viennent troubler les rêveries nonchalantes de ses compatriotes. Comme il n'y a guère que *M. tout le monde* qui soit gêné par le système, il n'est pas probable qu'on en change.

En résumé, les charbonnages espagnols pourront rendre quelques services, mais il s'en faut qu'ils soient appelés à exercer sur l'état industriel de la Péninsule une influence décisive; les prix auxquels les produits pourront être livrés au commerce arrêteront leur essor tout le temps que la législation ne sera point modifiée, et que le gouvernement maintiendra le droit protecteur.

Je terminerai cet exposé en donnant quelques tableaux statistiques de la production minière en Espagne. A cette simple inspection on s'apercevra que cette contrée peut facilement redevenir un des plus riches marchés à métaux de l'Europe le jour où les métallurgistes y trouveront les charbons à des prix modérés; ce jour-là les chemins de fer, appelés à rendre des services d'une nature plus élevée que ceux que l'on semble en attendre, sortiront eux-mêmes de la crise dans laquelle ils se trouvent enveloppés.

Dans le tableau qui suit, page 225, sont compris les résultats dans les divers établissements de l'état que nous donnons ci-dessous.

LOCALITÉS.	MINERAIS.	PRODUIT.	POIDS.	VALEUR.
Almaden.....	Cinabre.....	Mercure.....	740.1	3.609.618
Rio-Tinto.....	Pyrite.....	Cuivre.....	1.311.3	2.646.735
Sinares.....	Galène.....	Plomb.....	2.597.0	975.815
Hollin.....	Soufre.....	Soufre.....	206.0	124.822
Divers.....	Salins.....	Sel.....	13.220.0	30.835.000
			Total.....	38.191.990

Tableau du produit des mines en Espagne pendant l'année 1862.

DÉSIGNATION des PRODUITS.	MINERAIS.			MÉTAUX.		
	PRODUCTION en tonnes.	VALEUR de l'unité.	VALEUR totale.	PRODUCTION en tonnes.	VALEUR de l'unité.	VALEUR totale.
	tonnes.	fr.	fr.	tonnes.	fr.	fr.
Fonte	»	»	»	48,106	156	7,504,736
Fer	213,192	2,45	1,801,472	41,068	442	18,152,056
Acier	»	»	»	162	676	109,712
Plomb	277,345	79,20	21,605,324	62,767	364	22,847,188
Argent	2,323	637,00	1,607,171	00013,759[k]	213,200	2,933,418
Cuivre	227,719	23,50	5,351,336	2,529	2028	5,252,892
Mercure	16,115	148,20	2,398,253	769,5	4877	3,742,851
Manganèse	6,459	39,00	252,901	»	»	»
Alun	2,142	10,50	25,491	225	210	47,250
Soufre	12,639	21,00	265,439	2,444	317	714,748
Asphalte	1,166	33,80	394,108	224	104	23,296
Houille	360,000	»	4,390,000	»	»	»
Lignite	30,900	11,70	361.530	»	»	»
Zinc	41,104	67,60	2,778,630	1,883	442	832,286
Divers	3,213	»	1,141,257	»	»	557,890
Totaux	1,203,017		42,431,740			63,324,323

La statistique générale ne donne pas un chiffre qui eût offert cependant un grand intérêt : c'est celui qui eût représenté l'exportation en minerais pendant la même année.

RECHERCHES

SUR LA GÉOGRAPHIE DES ANCIENS PEUPLES

comparée à la forme actuelle des bassins modernes,

POUR SERVIR

A L'ÉTUDE DES COURS D'EAU SOUTERRAINS,

PAR M. CH. LAURENT.

Dans la séance du 20 juin 1856, je vous ai rendu compte d'un voyage que je venais de faire au Sahara oriental de la province de Constantine, où j'avais été appelé par le général Desvaux pour étudier, au point de vue pratique, la question des puits artésiens. Dès cette époque, j'avais pu vous tracer une coupe hypothétique de l'allure des nappes souterraines.

L'année suivante, le 18 mai, dans une séance de la Société géologique de France, j'énonçais que, pour moi, le Sahara proprement dit semblait un golfe appartenant au vaste ensemble des déserts autrefois couverts par les mers, et actuellement exondés comme lui. Ce golfe aurait eu son ouverture vers Gabès, qui était le seul point de communication avec la Méditerranée avant la formation du puissant cordon littoral qui l'en sépare aujourd'hui.

Je disais que ce bassin, desséché depuis peu, géologiquement parlant, pouvait devoir sa disposition actuelle à plusieurs circonstances causées par les soulèvements successifs du mont Aourès, dont les contre-forts, qui bordent le Sahara oriental comme d'immenses falaises, présentent des pendages en tous sens, tantôt vers le sud, tantôt vers le nord, montrant alors leurs tranches calcaires rompues et redressées au désert qui cache ainsi leur prolongement affaissé à une profondeur impossible à déterminer autrement que par des sondages traversant les terrains qui les recouvrent.

Je supposais que ce vaste golfe, après avoir été en partie comblé par les poudingues, cailloux roulés et sables formés des éléments arrachés violemment aux montagnes secondaires qui le limitent vers le nord, s'était rempli successivement par les matériaux provenant de la désagrégation des bassins tertiaires élevés, contenus dans des lacs intérieurs et

immenses. Des oscillations du sol, contemporaines de ces phénomènes d'érosion, semblaient avoir soulevé et exondé à plusieurs reprises ce fond de golfe.

Le sol du désert est donc, comme on le voit, un terrain quaternaire ou post-pliocène. On retrouve sur toute la zone nord du Sahara oriental, et dans les vallées qui le précèdent, ces immenses poudingues plus ou moins agrégés, mais composés presque exclusivement de cailloux roulés appartenant pour la plupart aux calcaires néocomiens dont sont formées presque toutes les hautes montagnes des Aourès. Ces poudingues ou cailloux roulés vont, en dégradant de grosseur, jusqu'à passer à l'état de sables fins, former l'immense couche perméable qui contient la grande nappe aquifère; ils paraissent être les premiers résultats des phénomènes d'érosion qui se continuent encore actuellement, mais sur une faible échelle, aux dépens des lambeaux encore existants des terrains tertiaires, lambeaux oubliés en quelque sorte dans les bassins qui les contenaient, comme témoins de l'importance qu'avaient leurs dépôts.

Des terrasses littorales, dont la dernière et la plus importante est désignée sous le nom de Coudiat El Dohor, présentent des falaises successives et sensiblement parallèles au contour primitif du bassin vers le nord, et marquent les différentes stations des eaux, ainsi que la diminution progressive de leur surface. Ces anciennes traces de falaises ou de rivages ne sont pas toujours parfaitement accusées; l'action des agents atmosphériques, et surtout du vent sur les parties sableuses, les ont fait disparaître en partie. Le *cardium edule* est répandu en certains points sur le sol, dans un sable identique avec celui du littoral actuel.

Je faisais ressortir ensuite les dispositions principales de ces énormes dépôts, qui sont celles qu'affectent les grands deltas, se divisant en raison des courants d'intensité variable qui les transportaient et de la forme des bassins où ils venaient s'échouer.

Dans votre séance du 3 juin 1859, nous avons présenté les coupes de huit sondages qui complétaient, avec ceux des campagnes précédentes, un ensemble de 14 forages. Les six premiers coups de sonde avaient donné une apparence de raison aux coupes hypothétiques que j'avais tracées et qui se trouvaient en quelque sorte corroborées par les huit derniers, parmi lesquels deux seulement étaient tombés dans des anomalies dont notre premier mémoire indiquait au reste la possibilité.

Aujourd'hui ce problème des puits artésiens au Sahara est un fait accompli; je mets sous vos yeux les coupes de tous ces sondages et la plus grande partie des documents que j'ai pu réunir sur cet intéressant sujet. Ainsi groupés, on a toute l'histoire des puits artésiens en Algérie.

Nous mettons à la suite de ces documents le résumé de tous les travaux qui nous sont connus; nous indiquons, malgré leur peu de succès, les premiers sondages exécutés. L'abandon de ces forages paralysa les instruments pendant près de dix ans, et ce triste résultat, assez constant

pour toute industrie qui échoue dans un pays neuf, se fût sans doute prolongé, sans l'heureuse initiative du général Desvaux. Les brillants succès obtenus dans la province de Constantine furent le signal de nouvelles tentatives dans les deux autres provinces. Les coupes indiquent les résultats obtenus. Pour la province d'Alger, nous les avons puisés dans les notices de M. Ville, ingénieur en chef des mines à Alger.

Entre Biskra et Tougourt, 42 puits ont été forés; ils fournissent, par 24 heures, 81,372 mètres cubes d'eau jaillissante.

A Tougourt et dans l'oasis, 24 puits arabes abandonnés ont été terminés et versent sur le sol 4,994 mètres cubes d'eau par 24 heures.

Au delà de Tougourt, 4 forages donnent 338 mètres cubes.

Enfin la magnifique plaine du Hodna, si célèbre et si fertile au temps de la domination romaine, a donné lieu aussi à d'assez beaux résultats: 16 puits ont été pratiqués et répandent par jour 8,239 mètres cubes d'eau sur le sol.

Enfin, la sonde fournissait, à la fin de la dernière campagne, un volume d'eau de 93,044 mètres cubes par 24 heures [1].

C'est en cherchant à coordonner toutes ces coupes de forages avec les différents nivellements barométriques faits jusqu'ici, et dans le but de découvrir, s'il est possible, les lois qui régissent les grandes variations présentées par ces puits dans leur rendement, c'est-à-dire afin de reconnaître les grandes lignes d'écoulement qui forment ces espèces de lits de rivières souterraines descendant des plateaux qui dominent le Sahara, que j'ai été conduit à des études assez singulières sur la géographie ancienne.

En 1845, M. Virlet d'Aoust présenta à la Société géologique une ancienne carte de l'expédition des Argonautes, sur laquelle il fit des observations très-remarquables sur la position réelle du Sahara par rapport au niveau de la mer.

Cette carte appartenait à M. Saigey et était intitulée : *Carte de la navigation des Argonautes* [2], *du monde primitif, suivant les périples* [3] *de Timée* [4], *d'Hécatée* [5], *d'Apollonius* [6] *et d'Onomacrite* [7], *pour servir à l'histoire de la Grèce.*

M. Viret avait fait vainement des recherches pour découvrir à quel

1. Aujourd'hui, ce chiffre dépasse 100,000 mètres cubes.

2. Argonautes, héros grecs, marins du vaisseau *Argo*.

3. *Périple*, le mot grec *périplous* signifie navigation autour.

4. Timée, historien grec né en 359, mort en 262 avant le Christ. Un autre Timée de la grande Grèce vivait au commencement du siècle avant J.-C.; il était philosophe.

5. Hécatée, historien grec né 550 ans avant J.-C.

6. Apollonius de Rhodes, poëte épique né à Alexandrie vers 276 ans avant J.-C. A fait un poëme sur l'expédition des Argonautes.

8. Onomacrite, auteur d'une poésie, l'*Argonautique*, sixième siècle avant Jc-C.

ouvrage appartenait cette carte qui ne portait ni nom d'auteur ni d'éditeur. Il avait vu dans la collection Gosselin, à la Bibliothèque impériale, deux cartes semblables, également sans indication d'éditeur ni d'auteur, mais sous le titre de : *Carte du monde primitif à l'époque de la fondation des premiers empires du monde primitif.*

Sur cette indication, j'ai pris copie de cette carte à la Bibliothèque impériale, et, de plus, j'ai découvert qu'elle se trouvait dans l'atlas de Court de Gebelin. Il est donc probable qu'elle fait partie du grand ouvrage de ce savant, intitulé : *Monde primitif analysé et comparé avec le monde moderne*, ouvrage très-ingénieux, mais pour lequel les critiques du temps (1770 à 1780) reprochèrent à l'auteur de mettre trop souvent son imagination à la place des faits.

Quoi qu'il en soit et toutes réserves faites, il m'a paru intéressant de comparer ce singulier tracé avec les découvertes et les faits géologiques les plus incontestables. La vue de cette carte venant appuyer quelques-unes des idées que j'avais émises, j'ai dû étudier, par un travail de recherches et de compilation, ce qui pourrait être vraisemblable dans ces anciens documents.

L'obscurité des textes et les restes plus ou moins effacés des phénomènes géologiques ne permettront pas une grande certitude dans bien des cas, mais il en est un certain nombre que les nouvelles annales de la nature aideront à apprécier et à reconnaître.

Si l'on étudie les anciens documents, on voit que l'idée la plus accréditée, et aussi celle qui présente le plus de probabilités, place le berceau du monde vers le nord, alors que cette région jouissait d'une température tout autre que celle qui existe aujourd'hui. Les glaces du pôle nord étaient probablement beaucoup plus reculées qu'aujourd'hui ; bien que cette hypothèse ne puisse se démontrer comme une vérité mathématique, de bonnes raisons sont données pour l'appuyer. Cette époque aurait suivi celle dite glaciaire.

Les anciens peuples, les peuples primitifs, évidemment, n'écrivaient pas ; les traditions seules peuvent nous éclairer ; mais il ne faut pas remonter bien loin pour être convaincu que cette méthode de transmission peut subir de bien profondes altérations, et surtout ajouter à des faits réels un côté merveilleux inadmissible.

Il semble probable que la fable ait un côté vrai : que les géants, les dives, les péris, les fées ont formé des peuplades primitives qui, du nord, descendirent graduellement vers le midi. On dit même qu'une des pyramides d'Égypte aurait été construite par Gian ben Gian, monarque des Péris[1]. Peut-être est-ce celle dite de Chéops, que l'on fait vivre plus de 1200 ans avant Jésus-Christ.

Les Atlantes, qui ont occupé si longtemps l'esprit des hommes les plus

1. Les Grecs, dans leurs traditions, font régner les Péris 9000 ans sur la terre.

remarquables, ont dû leur succéder. On a cherché leur berceau, et cette carte montre les différents points sur lesquels on a eu à discuter.

Sanchoniathon, que l'on regarde comme l'un des plus anciens historiens, peut-être contemporain de Moïse, mais, dans tous les cas, antérieur à l'époque du siége de Troie (seizième siècle avant Jésus-Christ), fait remonter l'origine du monde aux dieux de la fable.

Diodore[1], plus tard, ne dément pas cette origine; seulement il admet que les premiers hommes vivaient aux environs de Tyr et de Biblos. Nous voyons de même les anciens Egyptiens les placer sur les bords du Nil, vers Memphis. Par des calculs regardés comme assez probables, les villes de Tyr et de Thèbes en Égypte remontent à 2700 ans avant notre ère.

Les Atlantes, selon Bailly, auraient été la souche mère des Phéniciens, des Égyptiens et des Grecs. Seulement Bailly place ce peuple tout à fait au nord. D'autres ont cherché cette Atlantide au delà des colonnes d'Hercule, ou détroit de Gibraltar, vers les Canaries, où un peuple nommé Guanches conserve encore un grand nombre de coutumes de la vieille Égypte (momies, etc.).

On a même été jusqu'à penser que les Atlantes auraient pu venir de ce que nous appelons aujourd'hui le nouveau monde; qu'une communication pouvait avoir eu lieu entre l'Afrique et l'Amérique.

Il est probable que si l'expédition scientifique du Mexique étudie les fameuses ruines de Palenqué[2], elle jettera un grand jour sur ces antiques monuments qui présentent au moins à l'esprit et aux yeux du vulgaire de si frappantes analogies avec ce que l'Égypte et l'Assyrie peuvent nous offrir. Il en est de même des ruines du Yucatan; elles sembleraient aussi attester que les anciens peuples du nouveau monde ont dû provenir d'une même souche. Comment se sont-ils trouvés transportés à de telles distances et séparés pendant de longs siècles? Court de Gebelin nous dit que les Indiens et les Africains ont une adresse merveilleuse pour naviguer en pleine mer.

Lorsque les Portugais eurent découvert l'Afrique orientale, ils virent que les habitants naviguaient jusque dans les Indes, loin de toutes côtes, en se conduisant par les vents alizés ou par les moussons.

Lorsqu'on a découvert les îles d'Otahïti ou de Taïti, on a vu que les habitants allaient à 400 lieues de chez eux, jusqu'à la Nouvelle-Zélande, sans boussole et loin de toutes côtes; qu'ils connaissaient les mers du Sud à de grandes distances.

On sait encore que les peuples orientaux de l'Asie, tels que les Chinois, faisaient des voyages dans l'Amérique sans suivre les côtes et en cinglant en pleine mer.

1. Diodore de Sicile vivait sous César et sous Auguste, donc au siècle qui précéda l'ère chrétienne.

2. Ces ruines sont regardées comme antérieures aux Aztèques et même aux Toltèques, peuples qui habitaient le Mexique lors de l'arrivée des Européens.

D'après les rapports qui existent entre les langues, on est convaincu que les Phéniciens ont été en Amérique, où ils ont marqué leur voyage par des monuments de pierre, des inscriptions sur des rochers, notamment celui que Sewall, professeur de l'université de Cambridge, en Amérique, a trouvé à Dignton à 50 milles au sud de Boston.

Cette inscription a les plus grands rapports avec les inscriptions du mont Horeb et du mont Sinaï. De semblables monuments se retrouvent en un grand nombre de points, en Guinée, par exemple.

Il est bien évident que les peuples changent rapidement, les ravages des temps d'invasion ou de barbarie ont dû modifier souvent les lieux occupés par les habitants de la terre. Les pays boisés sont dépouillés, les contrées riches deviennent pauvres. Sans aller bien loin, n'avons-nous pas en Espagne des régions fertiles et civilisées du temps des Maures devenues presque désertes et stériles? Qu'étaient certaines contrées de l'Algérie au temps de la domination romaine, que sont-elles devenues? Il ne reste plus de ces époques que des témoins irrécusables de leur ancienne splendeur.

Aux différents changements amenés par les hommes, changements qui acquièrent une plus grande importance qu'on le suppose généralement, il faut ajouter ceux qui proviennent des oscillations brusques ou constantes du sol.

Les hommes déboisent les montagnes par l'incendie, soit dans les ravages malheureusement nécessaires de la guerre, soit encore pour remplacer une forêt que le climat semble rendre inutile, par de riches pacages pour leurs troupeaux, mais dont ils ne profitent pas longtemps : car dès que sur des pentes un peu brusques on fait disparaître ce qui retenait la terre végétale, les pluies mettent insensiblement la roche à nu, creusant des ravins, des torrents qui transportent toutes les matières meubles dans les plaines, au pied des montagnes et quelquefois jusqu'à la mer. Les montagnes devenues arides ne fournissent plus de sources, les conditions climatologiques elles-mêmes changent, et de vastes contrées, autrefois d'une richesse exceptionnelle, se dépeuplent à cause de leur insuffisance pour nourrir de nombreux habitants (provinces du levant de l'Espagne).

Après avoir recherché l'opinion des anciens sur les changements qu'ils ont observés, les récits qu'ils nous fournissent sur les migrations des peuples indiqués sur ces cartes anciennes, nous examinerons les mouvements contemporains que la science moderne constate; bien que faibles en apparence, ils nous donneront la mesure de ce qui a pu se présenter aux temps historiques les plus reculés; quelques-uns se trouvent déjà sur les points que nous examinons dans ces cartes de détail.

Les cartes anciennes indiquent de grands changements dans la Méditerranée; si l'on consulte l'atlas de C. de Spruner, on trouve une carte d'Homère 900 ans avant J.-C. Le détroit de Gibraltar existait, il place

les cyclopes en Sicile, ne donne que la Méditerranée, ne marque que l'embouchure du Nil, indique Thèbes, mais pas de mer Rouge.

Hérodote (440 *ante Christum*) donne d'assez grands détails sur l'Égypte. Il ne connaissait pas les sources du Nil. Il dit que l'on prétendait les connaître de son temps, mais il n'admet pas le récit; il croit cependant qu'il a une longueur au moins égale à celle du Danube. Il cite Prosopis, île du Delta, peut-être celle marquée sur la carte du monde primitif. Son opinion sur l'Égypte est « qu'elle fut autrefois un marais, que « celui qui verra les lieux, sans jamais avoir ouï dire ce qu'ils étaient au- « trefois, connaîtra facilement que l'Égypte où naviguaient les Grecs s'est « élevée à la hauteur où on la voit par un accroissement qui s'y est fait, et « que la terre qu'on y cultive, aussi bien que le pays qui est au delà de « l'étang pendant trois journées de chemin, est un présent de la rivière... « Car la nature et la situation de l'Égypte est de telle sorte que, en y venant « de la haute mer et étant encore à une journée de marche de la terre, si « vous jetez la sonde en mer vous en tirerez de la fange encore que l'eau « ait onze brasses de profondeur, ce qui montre manifestement que la terre « est descendue jusque-là..... Ainsi les prêtres me disaient, et je le voyais « bien moi-même, que la plus grande partie de cette contrée dont j'ai fait « mention était un accroissement que la rivière avait fait dans l'Égypte. « En effet, il me semble que tout cet espace que l'on voit entre les mon- « tagnes dont j'ai parlé, et qui sont au-dessus de Memphis, a été autrefois « un bras de mer. »

Et plus loin :

« Car la contrée du Delta, comme ils le disent eux-mêmes, est une terre « que la rivière leur a donnée, et, pour ainsi dire, n'a été créée que de- « puis peu de temps. »

En ce qui concerne l'antiquité de ce pays, Hérodote dit que les Égyptiens comptent dans leur histoire 341 générations; ils estiment qu'il faut trois générations pour faire 100 ans, et arrivent ainsi à 11,340 ans.

Il est constant aujourd'hui que le Delta du Nil se surélève chaque année. Les grandes lagunes ou lacs Maréotis, Bourlos et Menzaleh, Madied, d'Edkou, sont destinés à disparaître.

Le lac Maréotis a présentement son fond à 8 ou 10 mètres au-dessous de la Méditerranée. Il se dessécha dès que les canaux n'y amenèrent plus d'eau, et ce n'est que le 4 avril 1801 que l'armée anglo-turque, en coupant les digues du canal d'Alexandrie, y fit rentrer les eaux, et détruisit tout ce qu'il y avait de culture.

Le lac Ma'dyed ou lac d'Aboukir communique avec la mer, dont il n'est séparé que par un cordon littoral, et, en somme, tous les lacs qui reçoivent des détritus et des sables amenés par l'atmosphère sont destinés à se combler.

Bien qu'il soit reconnu aujourd'hui que le Nil depuis 3 ou 4,000 ans a peu modifié son delta ou prolongé son contour, surtout si l'on compare

cet accroissement avec ceux si rapides du Rhône ou du Pô, il n'y a pas moins là un fait certain, c'est que toutes les parties basses des côtes qui reçoivent des affluents devront, avec le temps, pénétrer plus avant dans la mer, les golfes ou lagunes se combleront, et nos cartes actuelles seront bien inexactes pour nos successeurs.

Examinons maintenant les cartes que je mets sous vos yeux.

CARTE DU MONDE PRIMITIF.

Sur cette carte, au nord, est indiquée l'île Ogygie prétendue de Plutarque. Ce même nom a été donné aussi à la terre fabuleuse où régnait Calypso, on la supposait près des côtes d'Italie. Il fut aussi celui du territoire qu'habitait Ogygès, et qui est aujourd'hui l'Attique et la Béotie. Ogygès vivait dix-neuf siècles avant J.-C. C'est sous son règne qu'eut lieu le déluge qui porte son nom. Le déluge de la Genèse se serait produit 3308 ans avant l'ère chrétienne, 2348 ans seulement selon Usserius[1]. Celui de Deucalion, qui inonda la Thessalie, dont il était roi, dura trois mois et arriva entre 1600 et 1500.

Nous trouvons une île des Hypopodes, c'est à peu près à l'emplacement de l'île Gotland.

Les psylles, qui étaient des jongleurs d'Égypte et de Libye, prétendaient avoir le don de neutraliser le venin des serpents et de les tuer par leur présence. Hérodote en avait fait un peuple particulier. Aujourd'hui on a encore dans ce pays les charmeurs de serpents.

Les Nassamous, qui habitaient le sud de la grande Égypte, furent soumis par les Romains en même temps que la Cyrénaïque.

Un jardin des Hespérides est marqué sur cette carte au-dessous de Bérénice; plusieurs points sont indiqués dans l'antiquité comme emplacement de ce jardin : les environs de Cadix, les îles Fortunées ou Canaries; mais le plus grand nombre de traditions s'accordent pour le placer dans la Cyrénaïque ou dans la Mauritanie, au pied des monts Atlas[2].

La carte du monde primitif indique des changements très-extraordinaires : la Sardaigne et la Corse sont réunies; la péninsule italienne séparée du continent, ainsi que la presqu'île de l'Inde.

Parmi ces changements, il en est un bien plus remarquable encore, mais peut-être plus facile à expliquer, c'est la mer Caspienne communiquant par deux bras avec les mers Glaciales, et par deux autres avec la mer du Nord et la mer des Indes.

D'autres changements de cette mer sont indiqués dans les quatre petites cartes suivantes.

1. Usserius, prélat anglican né à Dublin en 1580, savant historien et chronologiste, a fixé l'âge du monde 4004 ans avant J.-C. Les calculs donnant cette date ont été longtemps et universellement adoptés.

2. Bailly réfute, dans sa vingt et unième lettre à Voltaire, que le jardin des Hespérides ait pu être en Afrique.

CARTE DE PTOLÉMÉE [1].

La mer d'Aral est réunie à la mer Caspienne. Sa forme est complétement contraire à ce qu'elle deviendra plus tard : elle est allongée de l'est à l'ouest. Hérodote dit que « la mer Caspienne est une mer à part : elle « a en longueur autant de chemin qu'un vaisseau tiré à rames peut en « faire en quinze jours, et, dans sa plus grande largeur, autant qu'il « pourrait en faire en huit jours. »

On observe déjà de grands changements dans les peuplades qui habitaient les rivages de cette mer.

CARTE D'ALBUFEDA.

Albufeda, historien et géographe, est considéré comme le type du génie arabe. Il est né à Damas en 1273 de notre ère; on a de lui une histoire abrégée du genre humain. La carte qui porte son nom se distingue de beaucoup par son contour de celle de Ptolémée; la mer d'Aral fait encore partie de la Caspienne, mais l'allongement a lieu du nord au sud. On sent déjà que les montagnes du Caucase ont subi des effets de soulèvements. On trouve sur cette carte Karasm, ou plutôt Karism, qui formait, en 1231, un petit État indépendant, lequel fut renversé par Gengis-Khan. (On désigne quelquefois la mer d'Aral sous le nom de lac Kharism.) Il y aurait là presque une indication précieuse du moment où ce lac s'est séparé de la Caspienne. Nous trouvons aussi Tauris, capitale de l'Aderdigian, station importante des caravanes qui possède un des plus beaux bazars du royaume de Perse. En 1731, un tremblement de terre ruina et engloutit près de 100,000 personnes. Ce fait récent peut avoir influé sur la dernière forme de cette mer. Celui-ci est près de nous; il a eu par ses désastres une grande importance, mais il est bien probable qu'il ne constitue pas un fait isolé.

CARTE DE PIERRE LE GRAND, *rectifiée par d'Anville.*

Enfin nous arrivons à la carte dite de Pierre le Grand. Les deux mers sont séparées, mais il existe encore de nombreuses différences avec l'époque actuelle. Une carte plus récente, de la fin du siècle dernier, ne donne pas non plus les contours que nous possédons aujourd'hui.

Quelque importantes que soient les modifications apportées dans la géographie par les peuples des temps historiques, il faut reconnaître qu'elles doivent être bien minimes si on les compare avec celles de la

1. Ptolémée, né en Thébaïde, rédigea ses principaux ouvrages 138 ans av. J.-C.

nature, eu égard aux temps immenses et aux forces incalculables dont elle dispose.

Que de causes ont dû agir depuis les temps des peuples primitifs, puisque nous en voyons de récentes nous permettre de constater de nombreux changements dans la disposition des continents ! Les rivages de la mer Caspienne subissent de jour en jour l'action des volcans boueux que l'on y remarque.

Si l'on jette les yeux sur la carte géologique de l'Europe par Dumont, on reconnaîtra parfaitement la vraisemblance de quelques-uns des tracés indiqués par des hommes qui n'avaient évidemment que peu d'idées et de documents sur les faits géologiques récemment observés. On ne voit rien d'impossible à admettre l'ancienne communication de la mer Caspienne avec la mer Noire. Vers la mer Blanche, nous ne trouvons que des dépôts tertiaires moyens et supérieurs.

Les autres côtés nous échappent. Mais les dépôts lacustres horizontaux de la plaine d'Umk, près d'Antioche, sont caractérisés par des coquilles récentes lacustres et marines, comme au Sahara. On y trouve la *melania costata*, le *bulimus labrosus*, une *paludine*, une *succinée* et l'*helix cariosa* associée dans certains cas avec une coquille marine, le *cardium edule*, et cela à une altitude de 108^{m} au-dessus du niveau actuel de la mer.

Un des faits les plus importants pour l'objet qui nous occupe est bien caractérisé sur cette carte du monde primitif. Nous trouvons au milieu de cette contrée, où se forent les puits artésiens, *île Hespérie lorsque les eaux couvraient le pied du mont Atlas*. Cette île Hespérie occuperait à peu près l'emplacement de ces rivages que nous avons signalés sous le nom de conduit el Dohor.

Il semble bien constant que les eaux ont subi en Afrique de notables changements; ainsi, dans l'Atlas très-estimé du docteur C. Spruner, on trouve :

Fig. 1. (Pl. 46.) 1° Une carte du temps d'Alexandre le Grand, où vers le golfe de Gabès on signale deux lacs séparés mais contigus, et portant le même nom de *Tritonis lacus;*

Fig. 2. 2° Une carte presque du même temps où les deux lacs sont joints;

Fig. 3. 3° Une carte sous l'empire romain, où les deux Chott du Hodna sont réunis en un seul. Ce dernier fait est très-remarquable : car à cette époque les grandes villes romaines de cette contrée étaient en pleine prospérité, le pays était donc parfaitement connu.

On comprend qu'il devient très-important de se rendre compte du relief du désert, et nous nous trouvons très-embarrassé au milieu de données barométriques dissemblables.

Voici ce que disait, en 1845, M. Virlet d'Aoust : « Il paraît, d'après les « reconnaissances les plus récentes consignées dans la carte de l'Algérie, « publiée par le dépôt de la guerre en 1843, que les eaux de Biskra, au

« lieu d'aller, comme on l'avait cru aussi jusqu'alors, se jeter au sud dans « l'oued Djedi comme celle de Sibi-Okba, vont se perdre au contraire « dans un petit lac situé au N.-E. Or, des faibles altitudes au-dessus du « niveau de la mer de Biskra et de Sidi-Okba, on peut conclure que le « lac Melghigh (Chott Melrir), qui reçoit les eaux de cette dernière loca- « lité, présente une dépression. En effet, l'altitude de Sidi-Okba ayant « été indiquée de 61m,286 par M. Fournel, et ses eaux parcourant au « moins 23 myriamètres pour arriver au lac Melghigh (Chott Melrir), « où elles vont se jeter en se mêlant auparavant avec celles de la Djedi, « on voit que le niveau de ce lac sera déterminé par le plus ou moins de « pente du cours d'eau qui s'y rend de Sidi-Okba; or, comme, dans un « pays aussi plat que cette contrée, il n'est pas probable que ce courant « soit très-rapide, nous supposerons une pente moyenne de 0m,0005 par « mètre, ce qui donne 0m,50 par kilomètre, ou 5 mètres par myriamètre, et « pour les 23 myriamètres, 115 mètres de pente totale, ou 115 — 61,286 « =53,714 de dépression au-dessous du niveau de la mer. Mais si l'on sup- « pose à ce cours d'eau, au contraire, une pente plus rapide, égale, par « exemple, à 0m,000774 par mètre, qui est celle de la Meurthe, entre Lunéville et Nancy, cette dépression serait alors de 154m,80 au-dessous de « Sidi-Okba et de 93m,514 au-dessous du niveau de la mer. »

M. Virlet d'Aoust fait ensuite les calculs dans le sens inverse; en admettant, comme cela avait été supposé, que le Chott Melrir fût au même niveau que la Méditerranée, il trouve, en prenant pour base la pente moyenne du Rhône, de Lyon à Arles, 0m,000553, que l'altitude de Sidi-Okba serait de 129m,19.

Lors de mon voyage en 1855, il y avait déjà de nombreuses modifications reconnues dans les distances; depuis il en a été fait de nouvelles, et voici ce qui approche le plus de la vérité :

Les eaux de l'oued Biskra, en quittant cette ville, descendent vers le sud-est et rencontrent d'abord celles de l'oued Malah, qui n'est en réalité qu'une de ses branches; cette rencontre a lieu après un parcours de 20 kilomètres environ. Dix kilomètres plus loin, l'oued Djedi vient se joindre à l'oued Biskra, près du bordj de Tahir Racou, à Saada, et ces deux rivières réunies s'écoulent presque directement vers l'est pendant 14 kilomètres : là elles se divisent en plusieurs branches qui se dirigent vers le Chott Melrir. Ces branches ont 15 à 20 kilomètres de longueur; mais aucune d'elles, en temps ordinaire, n'a d'eau jusqu'à son embouchure; elles tarissent à un ou deux kilomètres du Chott proprement dit. Ces différentes fractions réunies donnent environ 54 kilomètres de distance parcourue par les eaux qui descendent de Biskra. Or, comme on le voit, la différence entre ce chiffre et celui de 230 admis dans le temps, et ayant servi de base aux calculs de M. Virlet d'Aoust, est énorme. Les calculs faits sur ce dernier chiffre sont donc loin de la vérité, puisqu'à 0m,50 par kilomètre, nous n'aurions entre Biskra et le

Chott qu'une différence de 27 mètres, ce qui mettrait cette partie du Chott bien au-dessus de la Méditerranée. Lors même que l'on doublerait cette pente, c'est-à-dire à un mètre par kilomètre, ce qui est à peu près la limite des rivières navigables, celle du Doubs, par exemple, aux environs de Besançon, on ne trouverait pas encore une altitude aussi basse que celle admise assez généralement.

Aujourd'hui voici les différentes données barométriques que nous possédons :

Pour Biskra.			*Pour Sidi Okba.*		
D'après MM.	Fournel.....	96m,836	D'après MM.	Fournel.	61m,286
—	Dubocq.....	111	—	Dubocq.	44
—	Capitaine Villemot.	89			
—	Cosson.....	137			
—	Marès.....	125			
—	Renou.....	89			

On comprend que le tracé que nous désirons faire aurait un point de départ bien difficile à déterminer. Parmi ces données, laquelle choisir? Elles appartiennent toutes à des observateurs consciencieux; chacun d'eux a établi ses calculs en faisant intervenir des moyens de correction qu'on ne peut qu'admettre. Dans ce pays, les observations simultanées se font à d'assez grandes distances; il est très-probable qu'entre elles, le baromètre et le thermomètre subissent des influences locales en dehors de toutes les prévisions admises.

Nous avons entendu dire qu'on allait prochainement s'occuper d'un travail géodésique sérieux; il est probable qu'alors un jour complet se fera sur cette question controversée. C'est alors seulement que nous pourrons établir d'une manière régulière une coupe indiquant l'allure des eaux souterraines et reconnaître que les points où le jaillissement est le plus abondant correspondent à des vallées d'écoulement formant échancrure des hauts plateaux qui bordent le désert vers l'ouest.

En ce qui concerne ces anciens documents sur la géographie des peuples primitifs, il nous reste, pour terminer, à signaler quelques faits de la géologie contemporaine prouvant que notre sol n'est pas en repos, et que les contours actuels des continents, aussi bien que leur relief, reçoivent chaque jour des modifications qui nous échappent, à cause de leur lenteur et du manque de témoins irrécusables pour les indiquer.

Le nouveau monde avec ses nombreux volcans semble dans une période d'activité relativement plus grande que les anciens continents. Sans vouloir étudier ici les mouvements fréquents observés depuis peu de temps, nous allons citer quelques faits.

Au Pérou et au Chili, surtout dans les années 1822 et suivantes jusqu'en 1835, on observa l'exhaussement et l'affaissement permanents du littoral : le 22 janvier 1834, la ville de Porto fut détruite; Lima également en 1746.

Dans la province de Truxillo, M. Warden a découvert une ville entière ensevelie par suite d'une éruption volcanique.

Au Mexique, le volcan de Jorullo, après quatre-vingt-dix jours de tremblements de terre, surgit au milieu de la plaine, à une hauteur de 510 mètres, le 29 septembre 1759.

Le 4 février 1797, à Riobamba, une secousse du sol fait périr 40,000 habitants; les mouvements du sol sont tels que des murs sont retournés sans être renversés.

Enfin, à une date plus rapprochée de nous, le 8 février 1843, la ville de la Pointe-à-Pitre est détruite de fond en comble. Le sol, à de grandes distances, s'est crevassé, fendillé; les côtes de la Dominique soulevées; les éboulements ont été nombreux et considérables le long des falaises, sur les crêtes des montagnes; les cours d'eau ont été interrompus ou changés en torrents de boue.

D'après Darwin et Alcide d'Orbigny, les plaines unies de la Patagonie et les pampas de Buenos-Ayres ont été soulevées récemment; elles sont couvertes, comme le Sahara, de coquilles récentes.

Lyell estime qu'au plus bas le delta et la plaine alluviale du Mississipi, ayant en quelques points des centaines de mètres d'épaisseur, permettent de faire remonter la formation de ce delta à plusieurs dizaines de mille ans. Il a fallu un abaissement de 70 mètres pour replacer ce pays dans sa position première.

Si nous jetons les yeux sur la carte de Dumont, qui ne renferme que l'Europe et quelques parties adjacentes de l'Afrique et de l'Asie, nous pouvons y signaler un grand nombre de faits qui indiquent les changements constants du sol.

Tandis que les coquilles marines répandues sur la surface donnent la mesure de la surélévation du sol, la mer nous cache les enfoncements; mais nous avons les dépôts terrestres qui peuvent encore nous éclairer sur ce point. Ainsi, les tourbes, formées évidemment dans des marais terrestres, ont été signalées sous les flots de la mer, et sont visibles à marée basse.

Les côtes de la Suède et de la Norwége subissent des mouvements lents d'abaissement et d'exhaussement.

Aux environs de Christiania, les collines de Saint-Haus-Hoian ont été visitées par un grand nombre de célèbres géologues qui ont constaté que des serpules attachées à la roche se montrent jusqu'à une hauteur de 56 mètres.

A trois ou quatres lieues de Christiania, à Gyssestad, des coquilles perforantes forment une bande à 50 mètres au-dessus de l'Océan. M. Scheever en a reconnu à la même hauteur près de Broswig dans la Norwége méridionale.

M. Brongniart a observé à 70 mètres au-dessus de la mer, à Uddewalla, en Suède, des bancs de coquilles de la Baltique.

MM. de Verneuil, Murchison et Keyserling ont rencontré les mêmes coquilles, mais provenant de la mer Blanche, sur les bords de la Dwina et de la Vaga, en Russie, à cent lieues des côtes actuelles.

Dans la Scanie et au Groenland, en Islande, on constate des affaissements.

En Écosse, à Figgate-Whins, M. Jardine a trouvé des huîtres à quelques pieds au-dessus du niveau de la mer, tandis qu'aux environs de Peebles et de Frich of Bay on constate des tourbes submergées.

Les tourbes au-dessous du niveau de la mer se trouvent en Angleterre dans le Cornouailles, près de Pensance, et dans le Lincolnshire, près de Sutton.

Les tourbes se retrouvent encore, indiquant des affaissements, en Normandie, entre Villers et Benerville, visibles à la basse mer, à Criquebœuf (Calvados), à Morlaix (Finistère).

Des mouvements d'exhaussement sont constatés dans la Charente-Inférieure : à Saint-Michel-en-l'Herm, des bancs d'huîtres ont été élevés à 10 ou 15 mètres au-dessus des eaux, et se trouvent à 6 kilom. dans les terres; on en a reconnu d'encore plus éloignés.

Aigues-Mortes, au temps de saint Louis (1248-1270), était un port; aujourd'hui, il se trouve à 5 kilom. dans les terres.

A Monaco, les coquilles de la Méditerranée se retrouvent très-élevées au-dessus du niveau de la mer dans une roche très-compacte.

Il en est de même à Nice, où l'on rencontre à 18 mètres de hauteur, et à une lieue du rivage, l'*ostrea edulis*.

Dans les États Romains, les mêmes faits se présentent.

A Pouzzoles, avec des poteries, des sculptures, les classiques colonnes du temple de Sérapis démontrent des affaissements et des exhaussements successifs. Les bords de l'Adriatique, l'Algérie et même l'Espagne en fournissent également de nombreux exemples.

MM. Boblaye et Virlet ont observé en Grèce des lignes de perforation de lithodomes à 5 mètres au-dessus des eaux.

Les rivages actuels sur toute la côte d'Arabie et de la péninsule du Sinaï sont couvertes de grès marins et de masses de polypiers très-récents; les coquilles sont dans un parfait état de conservation.

Dans le désert de Suez, on trouve des bois disséminés à la surface du sol, au milieu de fragments de grès et de cailloux de jaspe et de quartz. Ces arbres pétrifiés sont enfouis horizontalement; ils sont sans nœuds, sans branches et sans racines; ils semblent avoir appartenu à des conifères et à des cotylédones. Les savants concluent que l'Égypte a deux fois fait partie du fond de la mer, et qu'elle a été élevée à deux reprises différentes au-dessus de son niveau; les bois ont végété dans l'intervalle des deux phénomènes.

L'année dernière, M. Vaillant a constaté, à 18 kilom. de Suez, dans les travaux du canal maritime, la présence d'un banc d'*etheria Caillaudi* à l'état

subfossile, à peu près à l'emplacement de l'ancien canal des Pharaons. Actuellement ces mollusques ne descendent pas au delà de la première cataracte, située à 180 lieues de la mer. Au Sénégal, cette coquille se trouve vivante à 200 lieues dans la terre et à l'état fossile à 20 lieues du rivage.

Ces mouvements du sol donnent lieu, lorsqu'ils affectent des terrains meubles dans lesquels les eaux peuvent circuler, à des formes qui souvent sont favorables aux recherches d'eaux souterraines sur la surface laissée à sec. Aussi voyons-nous les puits artésiens se pratiquer avec succès, non-seulement dans les bassins formant véritablement cuvette, mais encore dans les terrains qui, par suite d'un relèvement vers les parties hautes, vont y recevoir des eaux supérieures qui peuvent s'y infiltrer. Une condition reste essentielle, c'est que les couches aquifères se prolongent assez loin du rivage avant de donner naissance à des sources trop nombreuses.

Il en est de même si, comme au Sahara, une dépression ou un fond de golfe vient à se combler. Évidemment ce qui se présente dans cette contrée doit se reproduire sur plusieurs points des steppes de la mer Caspienne et de la mer d'Aral; des causes analogues ont dû former les rivages actuels. Lorsque les fleuves qui venaient s'y déverser ont changé leurs cours, ils ont dû laisser un lit souterrain, et ce lit doit contenir des eaux. Les anciens bras de mers miocènes doivent se trouver aussi dans des conditions favorables.

Les deltas, par leur mode de formation en lits alternatifs de sable et d'argile, offrent à la sonde les conditions voulues pour l'obtention d'eaux artésiennes, Venise en est un bel exemple. Nul doute qu'il n'en soit de même des deltas du Rhin, du Nil, etc.

Les cendres volcaniques du Vésuve nous donnent en ce moment de belles eaux jaillissantes dans la plaine qui s'étend du pied du volcan au golfe de Naples.

NOTE

SUR L'EXPLOITATION DU SEMMERING

EN 1864,

PAR M. DESGRANGE.

Les résultats obtenus par le service de la traction des lignes du réseau Sud-Autrichien, pendant l'année 1864, constatent de nouvelles économies sur ceux des années précédentes. Ceux spéciaux au Semmering continuent à justifier nos prévisions.

Le trafic du Semmering en 1864 a été supérieur à celui de 1863 [1], et cependant les dépenses totales de traction présentent une notable réduction.

Ces dépenses, qui étaient de 2 fr. 155 par train et par kilomètre en 1863, sont descendues à 1 fr. 885 en 1864.

Le parcours des trains a été comme suit :

1° Trains de voyageurs, remorqués par les machines à 6 roues couplées . . . . . kilomètres.	79.630
2° Trains de marchandises, remorqués par les machines à 8 roues couplées	211.149
Total	290.779
Le parcours des machines a été de	291.704

Les frais de traction et d'entretien du matériel ont été de 548.304 fr. 52 c. qui se répartissent comme suit :

1. 360.887 tonnes et 252.595 voyageurs en 1864, contre 322.430 tonnes et 252.266 voyageurs en 1863.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES.	DÉPENSES TOTALES.	DÉPENSE PAR KILOMÈTRE de train.
MACHINES.	francs.	francs.
Conduite	103.289,47	0,355
Combustible	254.447,37	0,875
Graissage	14.181,28	0,049
Eau	7.547,35	0,026
Réparations des machines	118.944,55	0,409
Frais généraux	18.168,95	0,062
Total	516.578,97	1,776
VOITURES ET WAGONS.		
Réparation des voitures	14.414,25	0,050
— des wagons	12.083,83	0,042
Graissage	4.067,77	0,013
Frais généraux	1.159,70	0,004
Total	31.725,55	0,109
Total général	548.304,52	1,885

La dépense par nature de train peut donc s'établir ainsi :

1° Train de voyageurs passant le Semmering en une fois par kilomètre. 1,885

2° Train de marchandises passant le Semmering en deux fois à 1,885 × 2. 3,770

Soit sur l'année dernière une réduction de 12,53 p. 0/0.

La dépense moyenne par train des autres parties du réseau sud ayant été de. 1,021

et celle des trains de la Vénétie et du Tyrol sud de. 0,721

il s'ensuit que le rapport constaté l'année dernière entre les dépenses des trains du Semmering et celle des trains des autres lignes reste à peu près le même.

Les tableaux placés à la fin de cette note indiquent la comparaison des dépenses des derniers exercices.

BANDAGES.

On verra avec intérêt les résultats de l'usure des bandages des machines du Semmering, et la comparaison de cette usure avec celle des bandages des autres machines.

Les bandages en acier fondu sont les seuls qui puissent être employés avec sûreté sur le Semmering.

Ceux en fer de la meilleure qualité, ou en acier, ne peuvent faire qu'un très-faible parcours, et nécessitent continuellement des réparations.

1° *Bandages de machines.*

La garniture de huit bandages en acier de Krupp pour une machine à quatre essieux couplés, diamètre $1^m,065$ et $0^m,06$ d'épaisseur, pèse 2000 kilog., et coûte, à l'état brut, rendue à Wien.. 3,175
Frais d'alésage, pose, rivage, tour, etc.. 90
Total. 3,265

Voici le service moyen qu'on en tire :

Parcours jusqu'au 1er retournage. . . . . 26,000 k.
— — 2e — 42,500
— — 3e — 55,000
— — à usure complète 60,000

Après ce parcours, l'épaisseur des bandages est réduite à 25 ou 27 millim., et leur poids à 984 kilog.

Si, à la dépense ci-dessus de. 3,265
on ajoute les frais relatifs aux trois retournages, ceux de remontages, etc., de.. 143
La dépense totale est de. 3,408
et en déduisant pour la valeur de la garniture usée.. 308
on a pour la dépense totale correspondant au service fait. . . 3,100

D'où on déduit :

1° Parcours effectué pour un millimètre d'usure $\frac{60,000\text{ k.}}{54^m - 26^m}$ 2,143

2° Dépense par kilom. de parcours, 0,0516 fr.

2° *Bandages de tender.*

A cause de l'usage fréquent des freins, nous avons dû également, pour les tenders, adopter les bandages d'acier fondu.

Le prix de la garniture de 4 bandages posés est de. 1,632 50
Frais de 3 retournages, etc. 55 50
1,688 »
Déduction de la valeur des vieux bandages. . . . . 154 »
Reste pour la dépense. . . . . 1,534 »

Le parcours des bandages est beaucoup plus considérable pour les tenders que pour la machine, car les boudins des premiers s'usent moins,

et chaque retournage entraîne moins de perte que pour les bandages des machines, qui s'usent principalement par les boudins des roues d'avant.

Le parcours moyen des bandages de tender est de 120,000 kilom.

D'où on déduit :

1° Parcours correspondant à un millimètre d'usure $\frac{120,000}{54-23}$ 3,871

2° Dépense par kilomètre parcouru par le tender. 0,0128

Résumé pour un kilomètre de parcours :

Bandages de la machine.	0,0516
Id. du tender.	0,0128
Total.	0,0644

Sur les autres parties du réseau nous avons estimé cette dépense à 0,025, d'où il résulterait pour le Semmering une dépense de bandages de 2 fois 1/2 plus forte.

Nous avons aussi constaté dans les précédentes notes que les dépenses d'entretien de la voie du Semmering avaient subi de notables réductions.

Ainsi les dépenses d'entretien et de renouvellement, qui, en 1861, avaient été de 852,710 fr., sont successivement descendues à 584,665 fr., en 1862; 439,492 fr., en 1863; enfin en 1864 elles ne sont plus que de 364,605 francs.

Dans cette somme le renouvellement des rails est compris pour le chiffre de 226,306 fr. 15 c., représentant 1,001,500 kilog. de rails.

Donc, loin d'augmenter l'usure de la voie, la transformation des machines a contribué à en réduire les dépenses.

La note que nous avons écrite l'année dernière sur l'exploitation du Semmering, ayant été présentée à la Société des ingénieurs civils, fut renvoyée à l'examen de M. Vuillemin, ingénieur en chef du matériel de la Compagnie de l'Est, dont le rapport contient le passage suivant :

« Il résulte de la lecture du mémoire et des chiffres donnés par « M. Desgrange que cet ingénieur a su tirer le meilleur parti possible « des machines dont la construction primitive ne répondait pas au tra- « vail qu'elles avaient à faire, et qu'en trois années, par la transformation « successive de 26 machines du Semmering, et sans doute aussi par la « bonne direction qu'il a imprimée à tout le service, M. Desgrange est « parvenu à réaliser une économie de 50 p. 0/0 sur les frais de traction de « cette partie du réseau.

« Sans que nous partagions entièrement les idées de M. Desgrange

« sur l'emploi d'autres systèmes de machines pour le chemin de mon-
« tagne, il est évident qu'il a adopté le parti le plus rationnel et le moins
« dispendieux en utilisant et en modifiant, ainsi qu'il l'a fait, les ma-
« chines Engerth.

« Aucun ingénieur ne se fût décidé, dans ce cas, à mettre au rebut un
« matériel aussi coûteux, ou à le modifier de telle manière que la trans-
« formation eût coûté le prix d'une machine neuve.

« Mais il est certain que si M. Desgrange eût eu à construire de nou-
« velles machines, tout en préférant pour le cas spécial du Semmering
« les machines simples de construction et d'entretien du type à 4 es-
« sieux, il eût cherché à supprimer le tender et à utiliser les approvi-
« sionnements comme adhérence. »

D'un autre côté, dans le résumé que M. Petiet a fait des travaux de la Société pendant 1864, l'honorable président a bien voulu constater les bons résultats obtenus, et il a ajouté qu'il croyait « encore préférable « de faire usage sur ces fortes inclinaisons de locomotives utilisant « l'adhérence du poids du moteur entier. »

Nous saisissons avec empressement les observations émanant d'ingénieurs aussi compétents, afin d'y répondre, persuadé que la discussion sur un tel sujet ne peut qu'être utile.

M. Vuillemin approuve sans réserve la modification des machines du Semmering; mais il est d'avis que, si de nouvelles machines avaient été à refaire, nous aurions utilisé pour l'adhérence le poids total du moteur avec ses approvisionnements.

M. Petiet, conséquent avec le principe de ses nouvelles machines à 6 essieux, émet le même avis, en ajoutant que par la modification faite on a utilisé pour l'adhérence 4 roues sur 6, au lieu de 3 essieux sur 5. Mais sur ce dernier point nous devons faire une observation : car on pourrait croire que l'on a seulement gagné en adhérence la différence entre $\frac{4}{6}$ et $\frac{3}{5}$, soit $\frac{1}{15}$, ce qui n'est pas. La modification a donné une adhérence fixe de plus de 46 *tonnes bien répartie,* au lieu de 33 *tonnes avec essieux surchargés jusqu'à* 19 *tonnes.*

Sans méconnaître l'intérêt qu'on pourrait avoir à admettre le principe indiqué par ces messieurs, nous devons faire observer que les conditions dans lesquelles nous étions placé il y a cinq ans ne nous le permettaient pas, et qu'il en est encore de même aujourd'hui.

En effet, nous avions besoin en 1859, comme aujourd'hui encore, d'un moteur capable de remorquer à petite vitesse des trains de 175 tonnes (non compris moteur) sur des rampes de 25 avec courbes de 180 mètres.

Pour cela il fallait 7,500 kilog. d'effort de traction, et un poids adhérent que les circonstances locales nous ont démontré devoir être de plus

de 6 fois cet effort, soit 46,400 kilog. Ce poids réparti sur 4 essieux donne pour chacun 11,750 kilog., et approche assez de la limite de 12 tonnes que *les conditions de la voie nous interdisaient de dépasser.*

Ce premier point établi, comment était-il possible d'ajouter au poids de 46,400 kilog. déjà atteint par la chaudière, son eau, le bâti, le mécanisme et les roues, celui des approvisionnements et des caisses nécessaires pour les contenir, et s'élevant à environ 14 tonnes, puisque cela eût fait par essieu un poids de près de 15 tonnes?

Il ne restait donc aucun autre moyen que d'adopter le tender séparé pour les approvisionnements: car, outre la surcharge des essieux, nous considérions comme un grave inconvénient une machine dont l'adhérence peut descendre de 8 à 10 tonnes, lorsque les approvisionnements sont usés : car c'est précisément par *les mauvais temps, et alors que le maximum d'adhérence est nécessaire, que ces approvisionnements sont plus vite absorbés!*

Ce qui précède démontre donc l'impossibilité d'admettre l'emploi des approvisionnements pour l'adhérence avec une machine *à 4 essieux*, lorsque cette machine doit exercer constamment un effort de traction de 7,500 kilog., et que la charge des essieux est *limitée à 12 tonnes.*

Quel autre moyen restait donc pour arriver à la disposition recommandée? L'emploi d'une machine à 6 essieux moteurs? D'accord, nous l'avons dit des premiers il y a trois ans. Il était possible alors d'ajouter aux 46 tonnes de la chaudière et du mécanisme les 14 tonnes de caisses et d'approvisionnement, ce qui faisait 60 tonnes, soit 10 tonnes par essieu au départ, et 8 tonnes à 8 tonnes 1/2 après absorption des approvisionnements. Mais on sait à quelle complication le système entraîne. Une machine à 6 essieux exige 4 cylindres; l'écartement de 6 mètres des essieux extrêmes exige l'adoption de trains articulés, car on ne peut admettre pour la machine du nord que le rayon minimum de 275 mètres. Trouve-t-on dès lors que ce ne serait pas acheter trop chèrement la satisfaction d'utiliser les approvisionnements pour l'adhérence?

Il est donc bien établi que nous avons adopté le parti le plus rationnel et le moins dispendieux pour la modification de nos machines, et les 5 années d'expérience que nous en avons faite le justifient suffisamment, puisque les frais de traction des marchandises ont été réduits de 55,65 p. 0/0.

Toutefois les machines laissaient encore à désirer et nous n'avons rien négligé pour y apporter les améliorations possibles. C'est ainsi que pour le remplacement de 2 chaudières que nous avons fait dans le dernier temps, nous avons porté la surface de chauffe de 153^{m},39 à 182^{m},20, soit 18,7 p. 0/0 en plus, sans augmentation sensible du poids sur les 4 essieux. La boîte à feu extérieure a été faite en acier fondu.

Aujourd'hui la machine du Semmering se trouve établie dans les conditions suivantes :

Diamètre des cylindres		0,475
Course des pistons		0,610
Diamètre des 8 roues couplées		1,065
Tension de la vapeur (8 atmosph., 75-1)		7,75
Surface de chauffe : Foyer	9,760	
— Tubes	172,440	
— totale	182,200, ci.	182,200
Surface de la grille		1,774
Poids constant de la machine en service, également réparti		47,000
Poids de la machine vide à		41,500
Effort de traction théorique $\frac{P. d^2 l}{D}$		10,345,50

La charge ordinaire des trains à la vitesse de 15 à 16 kilom. à l'heure étant de 175 tonnes, il s'ensuit que l'effort de traction de la machine sur rampes de 25 peut être évalué à :

Pour le train, de	175 tonnes.	
— la machine	47 —	
— le tender	18 —	
Total	240 × (25 + 6 k.)[1].	7,440

Cet effort est donc de 72 p. 0/0 de celui théorique indiqué ci-dessus, et il correspond à 15,83 p. 0/0 du poids adhérent, ou à un peu plus du 1/6 de ce poids.

Le poids du moteur et des approvisionnements est comme suit :

	A VIDE.	EAU.	COMBUSTIBLE et sable.	TOTAL au départ.
Machine	41 500	4.850k	650k	47.000k
Tender	8.800	6.200	3.000	18.000
Total	50.300	11.050	3.650	65.000

D'où on déduit :

Poids par mètre carré de surface de chauffe.

1° De la machine et du tender à vide	276k
2° De la machine et du tender en marche moyenne	331
3° De l'adhérence	257

1. Nous avons admis 6 kil. pour l'effort *moyen* du train. Nous dirons plus tard la part du moteur et celle des wagons.

Chemin de fer du Sud de l'Autriche.

ÉTAT COMPARATIF DES DÉPENSES DE TRACTION ET D'ENTRETIEN DU MATÉRIEL DES ANNÉES 1859 A 1864.

1° *Réseau Nord.*

Vienne-Trieste et embranchements de Laxenburg et Odenburg.... 614 kil.
Pragerhof-Ofen, Stuhliveissenburg-Uj-Szony..... 411
Steinbruck-Sissek..... 125
Marburg-Villach..... 166
—— 1,316 kil.

DÉTAIL DES PARCOURS ET DÉPENSES.	Sous l'administration de l'État. 1859.	SOUS L'ADMINISTRATION DE LA COMPAGNIE. 1860.	1861.	1862.	1863.	1864.	Réduction des dépenses de 1864 sur 1859.	OBSERVATIONS.
Parcours des trains.....	4,416,023k	3,990,493k	5,542,559k	5,345,937k	4,551,630k	5,145,561k		
— des machines.....	5,907,671	4,561,279	6,078,358	5,701,986	4,797,530	5,442,219		
Excédant p. 100.....	35.12	14.30	9.66	6.66	5.40	5.79		
Parcours des véhicules.....	»	60,709,104	107,670,965	109,877,641	91,860,307	»		
Dépense de traction et d'entretien.....	13,322,592,7f	7,958,366,92f	8,205,802,00f	7,698,344,85f	5,883,419,10f	5,503,529,75f		
Dépense par kilomètre de train.....	»	»	»	»	»	»		
1° LOCOMOTIVES.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.		
Conduite.....	0.244	0.254	0.223	0.230	0.255	0.208	14.7 0/0	
Combustible.....	1.082	0.828	0.685	0.549	0.454	0.367	66.0	
Graissage.....	0.136	0.077	0.083	0.071	0.052	0.035	74.2	
Eau.....	0.109	0.066	0.033	0.031	0.024	0.017	84.4	
Réparations.....	0.636	0.351	0.236	0 269	0.203	0.188	70.4	
Frais généraux.....	0.098	0.083	0.061	0.072	0.100	0.082	16.3	
2° VOITURES ET WAGONS.								
Réparations des voitures.....	0.228	0.095	0.036	0.068	0.070	0.071		
— des wagons.....	0.434	0.175	0.069	0.094	0.078	0.063	76.5	
Graissage.....	»	0.042	0.038	0.037	0.034	0.021		
Frais généraux.....	0.049	0.023	0.016	0.019	0.022	0.017	65.3	
Total par kilomètre de train.....	3.016	1.994	1.450	1.440	1.292	1.069	»	
Réduction p. 100 sur 1859.....	»	33.80 0/0	50.90 0/0	52.20 0/0	57.10 0/0	64.55 0/0	64.55 0/0	

LONGUEUR des lignes en exploitation.

1859. 614k
1860. 723
1861. 1,025
1862. 1,150
1863. 1,278
1864. 1,316

Chemin de fer du Sud de l'Autriche.

ÉTAT COMPARATIF DES DÉPENSES DE TRACTION ET D'ENTRETIEN DU MATÉRIEL DES ANNÉES 1859 A 1864.

2° *Réseau Sud.*

Nabresina à Venise-Vérona-Peschiera ..... 337 kil.
Vérone à Bolzano (Tyrol-Sud) 147
Vérone à Mantoue 34
—— 518 kil.

DÉTAIL DES PARCOURS ET DÉPENSES.	Sous l'administration de l'État. 1859.	SOUS L'ADMINISTRATION DE LA COMPAGNIE. 1860.	1861.	1862.	1863.	1864.	Réduction des dépenses de 1864 sur 1859.	OBSERVATIONS
Parcours des trains	1,062,318k	1,264,631k	1,589,962k	1,776,345k	1,655,117k	1,684,593k		
— des machines	1,508,775	1,606,610	1,938,419	1,915,980	1,748,195	1,779,038		
Excédant p. 100	42.02	27.04	21.91	7.86	5.62	5.60		
Parcours des véhicules	18,357,922	21,854,094	24,190,502	24,636,028	27,623,766	28,596,117		
Dépense de traction et d'entretien	1,285,646,78f	1,426,862,03f	1,701,328,10f	1,388,447.60f	1,194,063,00f	1,250,252f.32		
Dépense par kilomètre de train	»	»	»	»	»	»		LONGUEUR des lignes en exploitation.
1° LOCOMOTIVE.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.		1859. 415k
Conduite	0.17	0.23	0.163	0.130	0.137	0.121	29.2 0/0	1860. 518
Combustible	0.53	0.43	0.443	0.308	0.276	0.256	51.6	1864. 518
Graissage	0.06	0.04	0.054	0.042	0.039	0.034	43.3	
Eau	0.03	0.02	0.016	0.013	0.013	0.013	56.6	
Réparations	0.18	0.20	0.176	0.129	0.118	0.143	20.5	
Frais généraux	0.02	0.02	0.041	0.055	0.040	0.041	»	
2° VOITURES ET WAGONS.								
Réparations des voitures	0.08	0.08	0.064	0.050	0.037	0.046	42.5	
— des wagons	0.05	0.09	0.094	0.037	0.048	0.075	»	
Graissage	0.02	0.01	0.010	0.007	0.006	0.005	75.0	
Frais généraux	0.01	0.01	0.009	0.010	0.006	0.008	20.0	
Total par kilomètre de train	1.20	1.13	1.070	0.781	0.720	0.742	»	
Réduction p. 100 sur 1859	»	5.83 0/0	10.83 0/0	34.91 0/0	40 0/0	38.1 0/0	38.1 0/0	

Chemin de fer du Sud de l'Autriche.

Comparaison des dépenses de traction du Semmering avec les autres sections (par kilomètre de train).

DÉSIGNATION DES LIGNES.	1859	1860	1861	1862	1863	1864	OBSERVATIONS.
LIGNE DU SUD.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
Semmering seul (1).....	»	2.85	2.40	2.29	2.155	1.885	(1) De 1860 à 1864, la charge de trains s'est accrue de 50 pour 100.
Autres sections.....	»	1.89	1.42	1.39	1.238	1.034	
Ensemble des lignes du Sud.	3.016	1.99	1.48	1.41	1.292	1.069	
Vénétie et Tyrol.....	1.20	1.13	1.07	0.78	0.72	0.742	

Comparaison de la consommation de combustible sur le Semmering de 1860 à 1864.

ANNÉE	Kilogrammes de coke.	Kilomètres de train.	Kilomètres de machines y compris manœuvres de gares.	CONSOMMATION par kilomètre de train.	CONSOMMATION par kilomètre de machine	OBSERVATIONS.
1860	15,390,997	425,969	469,465	36k	32k	On emploie le lignite de Leoben, dont la puissance est de 85 0/0 de celle du charbon.—On remarquera que pour une charge de 50 0/0 plus forte, la consommation a baissé de 30 0/0.
1861	11,387,009	349,730	382,516	32	29	
1862	8,332,543	300,717	309,448	27	26	
1863	7,129,978	269,826	295,414	26	24	
1864	7,335,709	290,779	320,402	25	22.8	

MÉMOIRE

SUR LES

SYSTÈMES DE CHARPENTE SUSPENDUE

PAR MM. LEHAITRE ET DE MONDÉSIR.

La construction des charpentes, pour la couverture des bâtiments, a fait dans ces derniers temps de très-grands progrès, grâce à l'emploi du fer et de la fonte. Néanmoins, il n'a pas été possible, dans des limites raisonnables de dépense, de dépasser des portées de 30 à 35 mètres, et ce n'est qu'exceptionnellement et avec des sacrifices considérables qu'on a pu construire des portées de 45 à 50 mètres.

On comprend cependant l'importance qu'il y aurait pour des halles, marchés, gares de chemins de fer, remises de locomotives, cirques, hippodromes, bâtiments destinés à de grandes expositions, etc., etc., à pouvoir disposer de grands espaces couverts, sans supports intermédiaires : ces supports, en effet, présentent une foule d'inconvénients qu'il est inutile de rappeler ici.

MM. Lehaitre et de Mondésir ont cherché la solution du problème dont il s'agit dans l'emploi des câbles de suspension, dont l'application a été limitée jusqu'à ce jour à la construction des ponts suspendus.

On a réussi à suspendre au-dessus des plus grands fleuves des tabliers de ponts, sur lesquels passent de lourdes charges et même des convois de chemins de fer. Pourquoi ne réussirait-on pas à suspendre, au-dessus de grands espaces entourés de murailles, des toitures incomparablement plus légères que le tablier d'un pont, et qui n'auront point à supporter d'épreuves roulantes?

Pour peu qu'on réfléchisse à cette nouvelle application des câbles, et qu'on la compare à celle des ponts suspendus, on reconnaît de suite que les principaux inconvénients que présente l'application aux ponts suspendus, disparaissent complétement dans l'application aux charpentes. L'effort supporté par les câbles ne variant plus, puisqu'il n'y a plus de charges roulantes, on n'a point à craindre, par conséquent, ces mou-

vements d'oscillation si dangereux, qui ont été la cause de tant de sinistres, et qui augmentent considérablement les frais d'entretien des tabliers.

Les inconvénients des puits d'amarre sont totalement évités, les câbles des charpentes peuvent, en effet, s'amarrer toujours *à sec*, dans l'intérieur des murs de refend.

Quant aux avantages de la nouvelle application, ils ressortent d'eux-mêmes : disons tout de suite qu'un des plus remarquables consiste dans une grande économie, conséquence de la légèreté du système.

Nous n'entrerons point, dans cette courte notice, dans des détails de l'application, cela nous conduirait trop loin, car il faudrait un volume de texte et un atlas de dessins pour décrire et représenter les applications qu'il est possible de faire.

Nous nous bornerons à quelques applications principales dont nous produisons des dessins à petite échelle, et dont on trouvera plus loin une description sommaire.

Ces applications sont au nombre de quatre, deux pour des bâtiments circulaires ou rotondes, et deux pour des bâtiments rectangulaires.

1° *Construction de grands cirques avec colonne au centre;*

2° *Construction de grands cirques sans colonne au centre;*

3° *Construction de grandes nefs éclairées par en haut*, soit avec des vitrages sur les rampants, soit par des jours verticaux;

4° *Établissement d'une série de galeries longitudinales et transversales*, avec piliers en quinconce espacés de 30 à 75 mètres.

Les auteurs de ce nouveau système ne veulent point faire de ces idées et applications nouvelles un objet de spéculation; ils désirent, au contraire, les vulgariser en les communiquant à tous les hommes compétents, et en les soumettant à l'appréciation des sociétés savantes.

BATIMENTS CIRCULAIRES OU ROTONDES.

N° 1. *Cirque de* 200 *mètres de diamètre intérieur, avec point d'appui au centre.*

La figure n° 1 (Pl. 47) représente un cirque de 200 mètres de diamètre intérieur et de 260 mètres de diamètre extérieur, c'est donc une surface couverte de 51,471 mètres, surface immense, si on la compare à celle des cirques anciens ou modernes.

Au centre de ce cirque, dont la surface intérieure est de 31,416 mètres[1],

1. La surface de la place Vendôme est de 16,000 mètres, c'est-à-dire la moitié environ de celle de l'intérieur du cirque.

se trouve une colonne de 5 mètres de diamètre, ayant une hauteur totale, y compris le piédestal, de 40 mètres. Cette colonne, ainsi que son piédestal, serait construite en pierre de taille de très-bonne qualité et même en granit, afin de mieux résister au poids assez considérable qu'elle supportera.

Au pourtour du cirque seront des galeries circulaires et des espèces de vomitoires servant de loges et de passages pour aller aux gradins. Ces vomitoires seront séparés par des murs de refend, sur lesquels s'appuieront les voûtes supportant ou recouvrant les vomitoires. Ces murs de refend auront aussi pour but de servir d'amarres aux câbles de suspension.

Les murs de refend seront au nombre de 48, et leur séparation d'axe en axe dans l'intérieur du cirque sera de 13 mètres environ.

Tous les câbles de suspension viendront s'amarrer sur un chapeau en tôle, placé sur le sommet de la colonne et passant sur des rouleaux de friction au-dessus des murs de refend; ils s'appuieront sur un tas de décharge à l'aide d'un rouleau, et iront s'amarrer dans une galerie où il sera facile de circuler.

Les câbles de suspension à l'aide de supports en fer ou en fonte, reliés entre eux, supportent des arbalétriers en fer, lesquels portent les pannes espacées de 1m,50 à 1m,75; sur les pannes on fixera des voliges, et enfin une couverture, soit en zinc, soit en tôle.

La disposition indiquée montre que des jours verticaux sont ménagés entre chaque partie de la toiture, afin d'éviter les inconvénients qui se présentent pour les vitraux placés directement sur les rampants.

La charge permanente supportée par les câbles est en moyenne de 330 kil. par mètre courant (*arbalétriers*, *pannes*, *voliges de* 0m,03, *zinc* n° 14, *vitrages*, *câbles*); en ajoutant une charge accidentelle de 120 kil. pour neige, vent et autres circonstances extraordinaires, on aura pour la charge maxima par mètre courant de câble 450 kil., et pour la tension des câbles 116 tonnes, ce qui exigera des câbles composés de 1,933 brins de fil de fer n° 18, pesant 60 grammes par mètre, en ne faisant supporter aux fils de fer qu'un effort maximum de 1/10 seulement de leur force absolue.

La pression sur le sommet de la colonne est de 1,080 tonnes; le diamètre étant de 5 mètres, la surface sera de 196,350 centimètres carrés, soit une pression de 5k 1/2 par centimètre carré pour la charge maxima, et un peu moins de 4 kil. pour la charge permanente. A la base du piédestal, cette pression, si on ajoute le poids de la colonne, sera de 3,500 tonnes, et pour une superficie de 490,000 centimètres carrés, la charge maxima par centimètre carré sera de 7 kil., et de 6 kil. pour la charge permanente; ces limites ne sont point élevées pour des constructions en granit et sont comprises entre le 1/80 et le 1/100 de la résistance absolue.

La dépense de construction d'un cirque de dimensions aussi colossales

n'arriverait, d'après des calculs approximatifs, qu'à 110 fr. par mètre carré de surface; mais dans ce prix la dépense pour les fondations n'a point été comprise, parce que le calcul de cette dépense ne peut être fait qu'après l'examen du sol et suivant les profondeurs qu'il faudrait donner à ces fondations.

Ce cirque, de dimensions extraordinaires et dépassant beaucoup tout ce qui a été fait jusqu'à ce jour, ne coûterait donc pas par mètre carré la moitié des constructions actuelles pour halles et marchés; car pour le marché du Temple, par exemple, le prix de revient par mètre carré est de 228 fr., et pour les Halles centrales de 485 fr., y compris la dépense souterraine que nous croyons devoir estimer à 185 fr. au maximum (*nous n'avons pu nous procurer des détails sur cette dépense*), ce qui ferait revenir la dépense, à partir du niveau du sol, à 300 fr. par mètre carré.

On pourrait objecter que la colonne centrale pourrait gêner la vue des spectateurs, mais cette crainte ne serait point fondée, car sur la place Vendôme, dont la superficie, ainsi qu'on l'a dit, n'est que la moitié de celle de l'intérieur du cirque, la colonne du centre ne gêne point la vue, lorsqu'on se trouve à l'une des fenêtres des bâtiments autour de la place, et *a fortiori* si la surface de la place était double, comme dans le cas du cirque que l'on vient de décrire.

N° 2. *Cirque de 100 mètres de diamètre intérieur, avec point d'appui au centre.*

Ce cirque est, avec des dimensions plus restreintes, complétement semblable à celui que nous venons de décrire; seulement, comme la tension des câbles est de beaucoup moindre, il est inutile pour les amarres d'avoir des murs de refend aussi considérables : ceux nécessaires pour résister par leur propre poids à cette tension des câbles ne seraient que de $0^{m},60$ d'épaisseur, c'est-à-dire de la dimension ordinaire des murs de refend.

La surface intérieure du cirque serait de 7,853 mètres, et celle totale de 16,741 mètres; il y aurait 32 divisions par les murs de refend, et par suite autant de galeries ou vomitoires.

La tension des câbles ne serait que de 51 tonnes, et par suite ces câbles, pour chaque groupe, se composeraient de 900 brins de fil de fer n° 18, pesant en totalité 54 kil. par mètre courant.

La pression maxima sur la colonne du centre serait de 320 tonnes, ce qui n'exigerait, en faisant supporter 3 kil. par millimètre carré de section de fonte, que 107,000 millimètres carrés. Comme chaque millimètre carré pèse $7^{gr},2$ par mètre de hauteur, il en résulte que le poids de la colonne centrale pourrait être réduit à 770 kil. par mètre courant; mais, pour avoir un excès de solidité, nous avons compté que cette colonne centrale pèserait 1,500 kil. par mètre de hauteur.

En supposant, comme dans le cas précédent du grand cirque, la charpente en fer, la couverture en zinc n° 14 posée sur voliges et toutes les maçonneries revêtues extérieurement en pierre de taille, la dépense de construction n'arriverait qu'à 96 fr. par mètre carré de surface couverte.

N° 3. *Cirque de 100 mètres de diamètre intérieur, sans pilier au centre.*

Pour des cirques de 100 mètres de diamètre intérieur, on pourrait désirer l'absence du pilier central; dans ce cas, on pourrait adopter le système indiqué dans la figure 2.

Les câbles de suspension soutiennent une couronne centrale placée à 15 mètres au-dessus du sol; cette couronne supporte une lanterne éclairée par des vitrages verticaux, et les câbles, après s'être infléchis sur des piliers de support, au-dessus des murs de refend, viendraient s'amarrer à ces murs, dont le poids, même de la partie supérieure, dépasse beaucoup la tension des câbles.

Ce système, dont le coût par mètre carré ne dépasserait pas 90 fr., pourrait être employé avec fruit pour des halles, marchés, remises de locomotives et aussi pour des cirques restreints.

N° 4. *Halle de 50 mètres de diamètre intérieur, avec greniers ou magasins.*

Halle ou remise de locomotives d'un diamètre intérieur de 50 mètres[1], et d'un diamètre extérieur de 80 mètres, c'est-à-dire d'une surface couverte de 5,026 mètres.

Comme dans le cas précédent, il n'y a point de colonne centrale. Les câbles amarrés aux murs de refend soutiennent une couronne de 10 mètres de diamètre, éclairée par des jours verticaux.

La dépense de construction d'une halle de cette dimension, dans la supposition d'une construction définitive, serait de 70 fr. par mètre carré.

Nous ferons remarquer que dans ces constructions circulaires, dont la charpente est suspendue, le poids des murs de refend est utilisé pour la résistance aux tensions des câbles, tandis que, dans les constructions ordinaires, ce poids si considérable des murs de refend n'est point utilisé pour la stabilité : c'est ce qui explique, en partie, la grande économie obtenue par ce nouveau système.

Nous ferons également remarquer que cette tension opérée sur les murs de refend, dans le sens du centre de l'édifice, tend à le consolider et à empêcher des renversements vers l'extérieur, c'est-à-dire dans le sens où ces renversements peuvent seuls s'opérer; loin donc de diminuer

1. La Halle aux grains de Paris n'a que 40 mètres de diamètre.

la stabilité par l'attache des câbles aux murs de refend, le nouveau genre de construction tendrait, au contraire, à donner une plus grande résistance, et par suite une plus grande durée à la construction.

BATIMENTS RECTANGULAIRES.

Les bâtiments circulaires, dont nous venons de décrire le mode nouveau de construction par le système de suspension, ne sont pas les seuls où le système peut être appliqué avec fruit, car ce ne serait que dans des cas exceptionnels que le système de MM. Lehaitre et de Mondésir pourrait recevoir des applications.

La pl. 47 indique divers cas où ce système est appliqué à de grandes salles rectangulaires, et aussi à des galeries accolées, comme il serait nécessaire d'en établir pour de grandes expositions ou pour des marchés considérables.

N° 5. *Salle rectangulaire de 75 mètres de largeur.*

La figure 4 (Pl. 47) représente le cas d'une salle rectangulaire de 75 mètres de largeur, c'est-à-dire pour une portée qui n'a pu être encore atteinte par l'ancien système des charpentes.

Sur les deux côtés de la grande salle, il y a des bâtiments latéraux, dont les murs de refend servent, comme dans le cas des rotondes, aux amarres des câbles. Les câbles, comme pour les ponts suspendus, sont supportés par des piliers posés sur les murs de refend, et viennent s'amarrer à des pierres de taille placées dans ces murs; ils supportent, à l'aide de tiges de suspension, des arbalétriers dans le sens transversal, et sur les arbalétriers sont fixées les pannes qui portent la toiture. Pour ne pas trop élever les points d'appui sur les murs de refend, les câbles pénètrent dans leur partie inférieure, c'est-à-dire au milieu de la travée, au-dessous de la toiture, et dans cette partie la charpente, au lieu d'être soutenue par des tiges, est supportée par des appuis qui reposent sur les câbles, comme cela a lieu pour quelques ponts suspendus (*le pont des Bergues à Genève est dans ce cas*).

La séparation des câbles, dans ce cas, est limitée par la longueur des pannes, et comme la couverture peut être faite très-légèrement, puisqu'elle n'exige pour chacune des pièces qu'un poids assez minime (*tous les efforts se reportant sur les câbles mêmes*), on peut facilement donner 12 mètres de portée aux pannes, et l'on pourrait même, sans inconvénient, porter cette longueur à 15 mètres en adoptant des pannes dans le système des poutres à treillis.

La coupe suivant AB, figure 5, indique un système dans le genre de

celui que nous venons de décrire, dans l'hypothèse des vitraux placés sur les rampants de la toiture.

La figure 4 (Pl. 47) indique le côté gauche; la tension des câbles est de 60 tonnes et n'exige par suite qu'un cube de 30 mètres environ de maçonnerie, pour résister à cette tension maxima. Aussi il est inutile de faire plonger les câbles dans le mur de refend, et l'on peut évider ce mur de manière à avoir des communications grandes et commodes entre les salles placées latéralement à la grande nef.

La dépense approximative de ce genre de construction, pour cette portée de 75 mètres de la grande salle intérieure, serait de 75 fr. par mètre carré en supposant une construction définitive, c'est-à-dire la charpente en fer, la couverture en zinc n° 14, et les maçonneries extérieures en pierre de taille.

On pourrait objecter que les vitrages placés sur les rampants ont de graves inconvénients, qu'il est inutile de signaler ici; aussi, pour remédier à ces inconvénients réels, nous avons figuré sur la coupe CD le moyen de prendre des jours verticaux. Comme ces vitrages ont pour effet d'élever le faîtage, nous avons cru utile d'élever aussi les points d'appui des câbles, afin de ne point avoir, dans le centre de la suspension, des colonnettes d'appui d'une trop grande hauteur.

Dans ce système indiqué sur la coupe CD, figure 4, la tension des câbles est sensiblement la même que dans le système précédent; mais, les amarres étant placées à une plus grande hauteur, la dépense de construction est un peu augmentée et arriverait à 85 fr. par mètre carré.

N° 6. *Salle rectangulaire de 150 mètres de largeur.*

Salle de 150 mètres de largeur. La tension des câbles dans ce cas est de 120 tonnes, et la dépense de construction ne dépasserait pas beaucoup celle du cas précédent, parce que si les câbles sont plus forts, si les murs de refend sont plus épais, il y a beaucoup des parties de la construction qui sont les mêmes, et comme la dépense se répartit sur une surface beaucoup plus considérable, la moyenne par mètre carré reste à peu près la même. On peut estimer qu'une construction de cette nature, avec cette dimension extraordinaire, qu'il est impossible de réaliser par les anciens systèmes, n'arriverait point au delà de 85 fr. par mètre carré.

Si l'on adoptait des jours verticaux, la dépense pour une construction définitive ne dépasserait pas 95 fr. par mètre carré.

Nota. Nous nous sommes limité à des largeurs de 150 mètres de portée, mais cependant il serait possible de porter cette largeur à 200 et même 250 mètres. Dans ces cas, la dépense par mètre carré serait un peu

augmentée, mais nous pouvons cependant assurer que cette dépense serait au maximum des 2/3 seulement de celle nécessaire pour des portées de 30 à 40 mètres, et ne dépasserait pas pour une portée de 250 mètres la somme de 160 fr. par mètre carré.

Nous ferons remarquer que les dimensions indiquées précédemment sont celles de la largeur des salles seulement, et en multipliant le nombre des fermes, on pourrait sans aucun pilier intermédiaire obtenir des surfaces couvertes considérables et d'une longueur indéterminée.

N° 7. *Bâtiments avec galeries longitudinales de 40 mètres, et galeries transversales de 30 mètres de largeur.*

Pour des bâtiments destinés à des expositions ou pour de grandes halles et magasins, on pourrait proposer pour programme d'avoir des galeries longitudinales et des galeries transversales, avec des piliers intermédiaires très-éloignés les uns des autres, et former ainsi une série de pavillons dans le genre de ceux des Halles centrales, qui ont une largeur de 30 mètres sur 30 mètres.

Le bâtiment est composé de cinq galeries de 40 mètres de largeur, de deux autres galeries de 30 mètres, et de salles latérales de 30 mètres sur 20 mètres. Ces galeries longitudinales, par leur disposition en échiquier, forment des galeries transversales de 30 mètres de largeur.

Chaque point d'appui dans le centre du bâtiment servira donc pour un espace de 1,200 mètres carrés.

Dans ce système, comme la portée des pannes serait trop grande, nous avons mis des câbles dans le sens transversal, comme dans les deux cas précédents, mais nous avons ajouté d'autres câbles dans le sens longitudinal et aussi dans le sens de la diagonale de chaque rectangle. Tous ces câbles se réunissent au-dessus de chaque pilier, et comme ils sont diamétralement opposés l'un à l'autre, leur effort horizontal de renversement est détruit, et il ne reste plus que les composantes verticales, c'est-à-dire une pression verticale sur le pilier.

Tous ces câbles vont s'amarrer, comme dans les cas précédents, aux murs de refend des bâtiments latéraux. Les arbalétriers, placés dans le plan même des câbles, sont supportés par des tiges de suspension ou par des supports, et ils reçoivent les pannes et vitraux formant des lanternes au-dessus des piliers.

L'écoulement des eaux pluviales se ferait par l'intermédiaire du pilier et seraient recueillies dans un système d'égout à petite section.

Cette construction, aussi légère qu'elle serait gracieuse, forme une série d'espèces de voûtes d'arête, dont les arbalétriers placés dans le plan des câbles diagonaux forment les intersections.

La surface des jours verticaux dépasse le 1/3 de la surface couverte.

Ce genre de construction serait extrêmement rigide et très-économique, et en ne faisant porter aux points d'appui que 2 kil. par millimètre carré de section, en ne faisant travailler (dans le cas de tension maxima), les fils de fer qu'au 1/10 de leur force absolue, en mettant toute la charpente en fer, la couverture en zinc n° 14, et les vitraux en verre double, la dépense de construction ne serait que de 55 fr. par mètre carré.

Dans ce système, la largeur totale du bâtiment serait de 302 mètres, et chaque galerie transversale de 30 mètres aurait une superficie de 9,060 mètres, ce qui n'exigerait que 15 galeries semblables pour obtenir la superficie nécessaire pour les bâtiments de l'Exposition de 1867.

N° 8. *Bâtiments avec galeries longitudinales de 75 mètres, et galeries transversales de 40 mètres de largeur.*

La figure 3 (Pl. 47) représente des galeries longitudinales plus larges que dans le cas précédent. Cette figure représente deux galeries centrales de 75 mètres de largeur et deux galeries parallèles de 62^{m},50, et en outre des bâtiments latéraux de 26^{m},50, ce qui donne en totalité une largeur de 333 mètres. Les galeries transversales ont une largeur de 40 mètres.

Le système de la construction est absolument le même que pour le cas précédent; seulement les câbles, points d'appui, amarres, ont des dimensions plus grandes, par suite de l'augmentation de la tension, et la dépense de construction serait de 70 fr. par mètre carré de construction définitive.

Ce dernier spécimen doit être considéré comme une limite de l'application des câbles au genre de bâtiment dont il s'agit ici; on comprend, en effet, que dans cette application on ne peut augmenter indéfiniment les portées, comme dans le cas des grandes nefs longitudinales.

Nota. Les prix de 55 et de 70 fr. par mètre carré ne sont guère que le 1/3 de la dépense pour les constructions de même nature dans l'ancien système de charpente; car, ainsi que nous l'avons déjà dit, ce prix est de 228 fr. pour le marché du Temple, et de 300 fr. environ pour les Halles centrales.

Cette économie n'est point obtenue par une diminution dans la solidité : car il est évident que le mode proposé est au moins aussi stable que l'ancien, et si une économie considérable est obtenue, c'est que les fers et toutes les parties de la construction travaillent dans le sens de leur plus grande résistance, et que les efforts considérables sont annulés par l'opposition de leur direction, avantages qu'il n'est pas possible d'obtenir par l'ancien système de charpente.

Constructions provisoires.

MM. Lehaitre et de Mondésir ont fait les calculs de dépense dans le cas de constructions définitives, c'est-à-dire avec des couvertures en zinc n° 14, avec toutes les pièces de la charpente en fer ou en fonte, avec les maçonneries revêtues extérieurement en pierre de taille; mais le système de la suspension pourrait encore, et même avec une plus grande économie, être appliqué pour un système provisoire, c'est-à-dire pour des couvertures en carton bitumé, et en remplaçant le fer de la charpente par du bois de sapin.

Quoique MM. Lehaitre et de Mondésir n'aient point fait de calcul définitif dans l'hypothèse d'un système provisoire, ils peuvent cependant dire que la dépense de construction serait diminuée de 40 0/0 environ; de sorte que pour le cas d'un bâtiment provisoire pour l'Exposition dans la forme du système n° 7, la dépense de construction n'arriverait qu'à 35 fr. par mètre carré, et que dans le cas de galeries longitudinales de 75 mètres de largeur, cette dépense serait de 45 fr. environ par mètre carré, chiffre qu'il n'a point été encore possible d'obtenir dans des constructions provisoires (*la dépense pour les annexes de l'Exposition de 1855 a été de* 75 fr. *par mètre carré*).

CONSIDÉRATIONS sur les Projets d'application de la suspension métallique aux toitures à grandes portées, de MM. Lehaitre et de Mondésir,

PAR M. EUGÈNE FLACHAT.

La grande expérience acquise par M. Lehaitre dans la construction des ponts suspendus explique à la fois la hardiesse et la sûreté de coup d'œil avec lesquelles se trouve résolue, dans les projets qui vous sont présentés, l'application de la suspension métallique aux toitures à grande portée.

Un intérêt de circonstance s'attache à cette discussion : la prochaine Exposition soulève de nouveau la question des grandes portées couvrant des espaces considérables avec sécurité, avantage et économie.

Cet intérêt se montre aussi pour les gares de chemins de fer, les remises de locomotives, les amphithéâtres, les cirques, les hippodromes et les ateliers industriels, dans lesquels il convient de couvrir de grandes superficies, en évitant l'encombrement des points d'appui; et lorsqu'il s'agit d'obtenir une hauteur suffisante pour donner beaucoup d'air sans courants, ainsi qu'une lumière égale et bien dirigée.

L'idée arrive donc à son heure; l'opportunité n'en est pas contestable, si ses avantages, si sa supériorité sur les autres solutions sont établis.

Les exigences du mode actuel de couverture des grands établissements que nous venons d'énumérer amènent des inconvénients dont il faut faire ressortir la gravité.

Le premier est celui des points d'appui répartis sur la superficie à couvrir. Ces points d'appui exercent toujours une grande influence sur les aménagements du sol couvert. Dans une gare de chemin de fer, ils dictent la place des quais ou des entrevoies; dans les salles d'exposition publique, ils règlent la distribution des espaces, les axes des promenoirs; dans les amphithéâtres et les cirques, ils gênent la vue; enfin, dans les ateliers industriels, ils règlent à eux seuls la distribution de la surface couverte.

Mais, quelque grave qu'elle soit, ce n'est là qu'une partie des inconvénients des piliers intérieurs. Ils exercent, en outre, sur l'utilisation du sol couvert, une autre influence très-fâcheuse et de tous les instants. En effet, les points d'appui exigent des noues, des descentes d'eau, et, par suite, des égouts qui coupent le sous-sol en tous sens et réduisent l'usage de l'espace couvert. Si ces piliers sont élevés, ils exigent des versants de

toit considérables, inconvénient qui est, pour ainsi dire, en raison de la hauteur même qu'on leur donne. Or, l'emploi des grands versants de toiture est, à la fois, d'un entretien difficile et d'un usage incommode pour la distribution de la lumière et de l'air; ajoutons que du dehors, comme en dedans, ils sont d'un aspect disgracieux.

Dans un pays où la lumière du soleil produit, comme température, des effets aussi extrêmes de l'été à l'hiver, que celui-ci, il importe beaucoup d'ôter aux rayons solaires la direction qui, dans les jours chauds, rend le séjour sous les espaces couverts et fermés très-pénible. Or, cela est bien difficile dans le système actuel, où la situation des points d'appui règle le mode et la direction des jours.

Nous pourrions passer en revue les divers établissements auxquels conviennent particulièrement les grandes portées, pour montrer les inconvénients spéciaux à chacun; inconvénients qui s'attachent à l'emploi des points d'appui intérieurs considérés comme encombrement, comme direction forcée des axes d'aménagement du sol, comme servitude pour les égouts, et comme difficulté de distribution de lumière et des courants d'air. Mais nous nous croyons dispensé d'entrer dans ces détails, par ce fait que la tendance aux grandes portées est tellement manifeste, on les recherche au prix de tant de sacrifices, que nous devons considérer leur utilité comme acquise à la discussion.

Cependant, comme l'intérêt le plus immédiat, celui qui s'applique à l'Exposition, est invoqué par les auteurs du projet, quelques souvenirs personnels à plusieurs d'entre nous sont utiles à reproduire sur ce côté de la question.

A part les embarras qui résultent de l'exiguïté des surfaces couvertes dans les expositions, il en est d'autres qui atteignent les exposants d'une manière plus directe encore : c'est la disposition de l'emplacement qui leur est accordé. On ne se figurerait guère que l'accès pour apporter, pour déballer, pour monter, et, quand tout cela est fait, l'accès à ménager pour l'approche du public, sont pour l'exposant autant de sources de préoccupations, de difficultés et de dépenses. Pour le montage qui exige le service de grues à vapeur, de voies ferrées, de wagons, il faut de la hauteur, de l'espace, une grande liberté dans la disposition de la superficie du sol et du sous-sol.

A l'Exposition anglaise de 1862, le bâtiment des machines a, par suite de la mauvaise disposition de sa couverture et de ses points d'appui, coûté des sommes énormes à quelques exposants, en tête desquels je placerai sans conteste MM. Cail et C^ie^, qui n'ont surmonté qu'à force de temps et de sacrifices les difficultés de montage que le peu de hauteur et les dispositions des piliers du bâtiment leur imposaient. Ils ne furent pas les seuls, et il a été évident pour tout le monde qu'une meilleure entente de la couverture eût produit une très-sérieuse économie de temps et d'argent.

Quant aux courants d'air de cette partie de l'Exposition, ils étaient bas, c'est-à-dire nuisibles ou impossibles; et puis le soleil tombait directement sur le public et sur les objets exposés. Quelques heures de séjour amenaient une extrême fatigue. Les longues études dans cette partie de l'Exposition, la plus intéressante de toutes assurément, étaient un acte de dévouement.

Si donc il est une construction pour laquelle l'absence des points d'appui, la complète disposition du sol et du sous-sol, la hauteur, la pleine liberté de diriger la lumière, soient utiles, sinon indispensables, c'est assurément celle qui serait destinée à une Exposition.

Il faut que le sol y puisse être sillonné de voies ferrées provisoires, portant des grues ou chariots de montage susceptibles de manœuvrer facilement les pièces les plus lourdes, depuis la statue équestre, le canon du calibre de 300 livres avec son affût, la tour d'un monitor, jusqu'aux pièces de 25 à 30 tonnes d'une machine marine de 1,000 à 2,000 chevaux.

Et puis, ce qui distinguera l'Exposition française de l'Exposition anglaise, si l'emplacement en est mis en relation avec les chemins de fer, c'est que les appareils à exposer pourront être amenés en objets indivisés du poids de 10 à 12 tonnes. Que de dépenses, d'embarras et d'ennui épargnés aux exposants par cette seule circonstance !

MM. Lehaitre et de Mondésir présentent deux projets pour les bâtiments de l'Exposition avec portées de 40 à 75 mètres et un projet de cirque ou d'amphithéâtre avec portée de 150 mètres.

Nous avons eu, il y a quelques années, l'occasion d'étudier sommairement un projet d'amphithéâtre pour Paris, et notre premier soin fut d'étudier ce qui avait été fait, en constructions de ce genre, par les Romains.

On trouve dans certains ouvrages d'architecture que le Colisée, à Rome, contenait 120,000 spectateurs; d'autres écrivent 70,000. On lit aussi que les arènes de Nîmes contenaient 24,200 spectateurs. On s'explique difficilement de pareilles erreurs.

Le Colisée a 560 mètres de circonférence, ce qui correspond à un diamètre de 180 mètres. Sa superficie est de 25,446 mètres, dont 4,778 pour l'arène. En déduisant les couloirs et en comptant $0^{m2},60$ par individu assis, le Colisée pouvait contenir au plus 20 à 25,000 spectateurs.

L'amphithéâtre de Nîmes est une ellipse dont le grand axe a 133^{m2} et le petit 117 mètres, sa surface est de $12,625^{m2}$ et ne devait pas contenir, arène et couloirs déduits, plus de 12,000 spectateurs.

L'amphithéâtre projeté par MM. Lehaitre et de Mondésir aurait 150 mètres de portée. Avec une longueur double, il offrirait $45,000^{m2}$ de superficie : près du double du Colisée.

Après avoir indiqué le degré d'intérêt qui s'attache à la solution proposée, il convient de l'examiner au point de vue technique.

Il est inutile de rappeler que, dans les divers emplois du métal, celui

qui est limité à un effort de *traction* est le plus économique de tous, parce que cet effort n'est susceptible d'aucune déviation.

Mais des difficultés s'opposent à cette disposition : l'une, la plus grave, est dans les mouvements oscillatoires et ondulatoires propres aux corps suspendus dans l'espace.

Ces mouvements, une très-petite force, pourvu qu'elle soit continue, suffit à les créer, à les entretenir et même à les accroître, de manière à éprouver les assemblages, en excédant les limites d'élasticité du système. Les altérations provenant de cette cause ont discrédité les ponts suspendus. Contrairement à toutes les prévisions, ce n'est pas par la suspension qu'ils ont manqué de sécurité, c'est par les pièces d'attache du tablier à la suspension.

Ce n'était là qu'une difficulté; mais comme ce genre d'entreprises était peu productif, les ingénieurs ne se sont pas préoccupés, dans ce pays, des moyens de la vaincre. Il n'y avait plus d'application immédiate à projeter.

A l'étranger, des ingénieurs plus hardis peut-être, ou plutôt disposant de plus grandes ressources financières pour surmonter des obstacles naturels inabordables par toute autre solution, ont heureusement résolu le problème en alliant la rigidité des ponts fixes à la suspension métallique pour les passages des chemins de fer sur de larges et profondes vallées. Déjà des travaux théoriques, épars dans des recueils scientifiques étrangers, avaient démontré que le procédé de suspension métallique pouvait être concilié avec une rigidité du tablier presque aussi complète que celle des ponts sur poutres en fer. Des constructions métalliques établies d'après ces notions avaient été envoyées aux Indes; mais nulle application n'avait abordé ni résolu la question avec autant de grandeur et de succès que le pont du chemin de fer sur le Niagara.

C'est cette condition nouvelle de rigidité, dont le but est d'annuler à la fois les effets d'oscillation et d'ondulation, qui est fort intelligemment remplie dans les applications de la suspension métallique aux toitures à grande portée, projetées par MM. Lehaitre et de Mondésir. C'est là l'idée vraiment ingénieuse qui, dès la première vue, nous semble donner une grande valeur pratique à leurs projets. L'ensemble de la toiture constitue une série de parallélogrammes verticaux et horizontaux assemblés entre eux, et dont l'homogénéité s'oppose à toute déformation. Dans ces parallélogrammes soutenus, et attachés par des points de contact multipliés aux organes de la suspension, se distribuent à volonté les parties pleines de la toiture, les chenaux, qui, comme les versants, peuvent être très-divisés; les vitrages et les lanternes à courants d'air.

La lumière peut arriver horizontalement, de manière à empêcher les rayons solaires de frapper directement les objets pendant la chaleur du jour. Elle peut arriver, au choix de l'ingénieur, de l'est, de l'ouest, du nord, du sud ou de tous les côtés à la fois.

L'inclinaison des versants peut être telle que la neige glisse aussitôt qu'elle acquiert une certaine épaisseur. Cette inclinaison permet à volonté, suivant l'angle qu'il convient d'adopter, l'emploi du zinc, de la tôle galvanisée, de l'ardoise ou de la tuile. Le système se prête à l'emploi des matériaux les plus lourds et les plus légers.

On s'expliquera que nous n'entrions dans aucun détail relatif à la résistance même que le système de toiture doit opposer aux pressions extérieures et aux sous-pressions. C'est l'affaire des auteurs du projet. En se donnant pour condition la limite d'un effort de 2 kilog. pour la fonte et celui de 6 à 8 kilog. pour le fer à l'état normal, et en supposant la charge accidentelle des toitures à 40 kilog. par mètre carré en sus de leur poids propre, nous avons toujours atteint un degré de solidité qui défie les efforts que le vent, la neige et les mouvements de dilatation peuvent exercer sur une toiture de grande portée.

Quant aux sous-pressions, nous les considérons comme d'autant moins à craindre, ici, que le système est plus solidaire que tout autre et présente plus de résistance à la déformation.

C'est, pour ainsi dire, un réseau cellulaire diaphane ou transparent, étendu sur l'espace. Cette forme de réseau cellulaire a été employée pour la première fois par M. Bourdon, membre de cette société, pour le fond des bateaux en fer de 100 mètres de longueur qui ont révolutionné la navigation du Rhône; plus tard par Stéphenson dans le pont de Menai; puis dans la construction ordinaire des ponts fixes métalliques; et par Brunel dans la construction du *Great-Eastern;* enfin aujourd'hui pour la coque des navires cuirassés.

Ici, ce système de charpente composé d'après le même principe, mais formé de pièces légères et de faibles dimensions, assemblées en parallélipipèdes pour ainsi dire taillés à jour, se substituant aux arbalétriers, aux entraits, aux pannes et aux chevrons, résiste mieux dans son ensemble que le système actuel, parce qu'il est plus homogène.

L'étude des causes de destruction violente des toitures a fait reconnaître que les accidents les plus ordinaires se réduisent aux trois formes suivantes :

Quand la violence du vent dépouille une à une d'abord, puis par grandes parties, une toiture des ardoises, des tuiles, du zinc qui la recouvrent, le phénomène de destruction commence à l'extérieur par un point et s'étend rapidement. Ce sont là des effets de tourbillonnement, de trombe.

Il en est autrement quand une construction ouverte au vent est emportée par panneaux entiers, et où pannes, chevrons, voliges et zinc ou carton bitumé sont arrachés des arbalétriers. Alors la charpente principale reste : le vent a agi sur les attaches qui ne correspondaient qu'à une ré-

sistance de quelques kilogrammes par mètre carré. C'est là un effet de sous-pression.

Mais l'effet le plus énergique de sous-pression se produit quand des toitures entières, charpente et couverture, ont été soulevées et retombent en s'effondrant, comme nous l'avons vu, il y a vingt ans, du vaste cintre en fer et en zinc qui couvrait la gare de Versailles (rive gauche). Cette toiture était d'une extrême légèreté, elle ne présentait aucune solidarité dans ses assemblages. Il suffisait d'une brise légère pour lui imprimer des balancements, signes évidents de sa faiblesse.

En examinant la composition des charpentes de hangar, qui résistent habituellement, on est fondé à admettre que la résultante, comme sous-pression, du vent le plus violent à Paris, ne s'élève pas au delà de 20 à 25 kilogammes par mètre carré, et que les toitures en fer aujourd'hui construites peuvent résister à une sous-pression quadruple de celle-là.

La seconde difficulté à l'emploi du système de suspension métallique est dans la nécessité de trouver des points d'attache dans les constructions adjacentes. Cette difficulté pourra être un obstacle à l'extension du système, mais elle disparaît là où des bâtiments latéraux sont une annexe, non-seulement utile, mais indispensable. C'est le cas pour les expositions, les amphithéâtres et les divers genres d'établissements qui exigent des salles latérales. Les dispositions intérieures que les nécessités de l'amarrage imposeront à ces constructions ne nous paraissent pas devoir affecter sérieusement leur utilisation. Il s'agira d'intéresser leur poids en tout ou en partie à un seul point, celui où se portera l'action des résultantes de l'effort de traction.

La dimension des ouvertures par lesquelles ces salles latérales communiqueront entre elles à travers les murs de refend soutenant les amarres sera peut-être limitée, mais pas au point que les commodités d'emploi ni l'aspect soient intéressés.

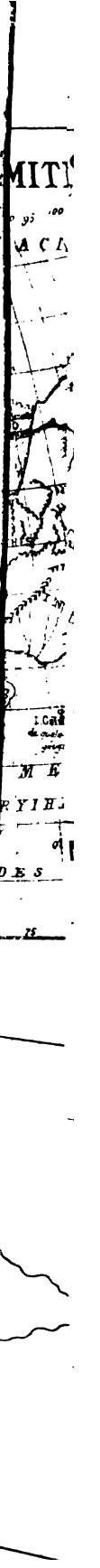
C'est du reste sur ces points techniques que le mémoire, les calculs et les dessins des auteurs des projets fournissent des éléments d'appréciation.

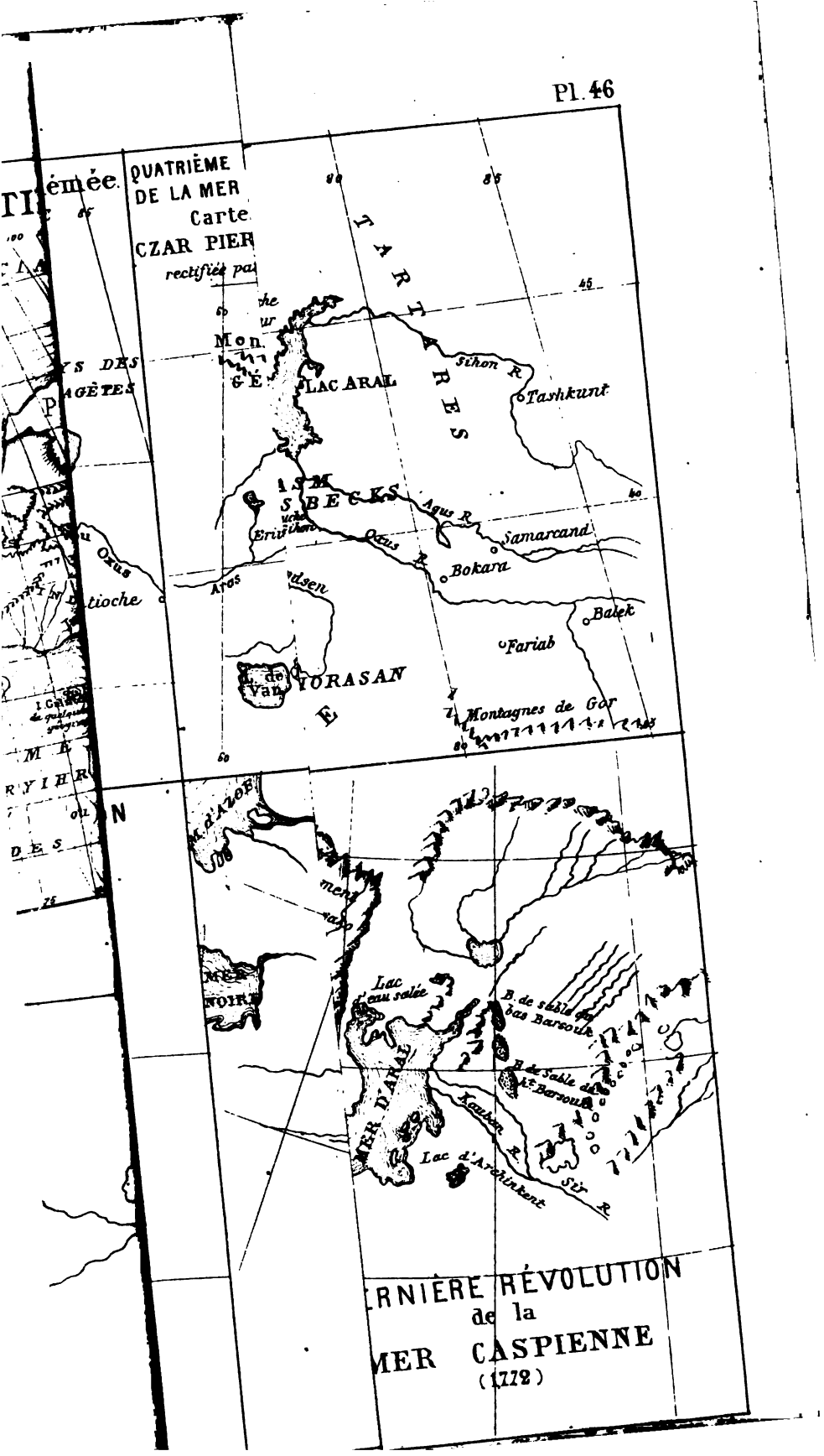
Nous avons accepté avec empressement l'offre qui nous a été faite par M. Lehaître d'appeler l'attention et la discussion sur les projets produits par M. de Mondésir et lui, parce que ces projets étendent l'art de la construction, agrandissent le champ des applications du fer aux édifices que des besoins nouveaux réclament et qui ne deviennent possibles que par l'emploi du métal.

Nous avons cherché à en faire ressortir l'intérêt et les avantages, mais notre part dans cette discussion est, comme vous avez pu en juger, tout

à fait secondaire; elle serait même inopportune si les bases dont nous sommes parti n'étaient pas fondées sur des calculs sérieux, sur des moyens pratiques, sur des devis comparatifs détaillés. C'est sur tous ces points essentiels qu'ont porté les études des auteurs des projets, et c'est par eux qu'ils se recommandent à notre attention.

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.




QUATRIÈME
DE LA MER
Carte
CZAR PIER
rectifiée pa
TARTARES
LAC ARAL
Sihon R.
Tashkunt
Agus R.
Samarcand
Oxus R.
Bokara
Balek
Fariab
Montagnes de Gor
Lac d'eau salée
MER D'ARAL
Kouban R.
Lac d'Aralskent
Sir R.
ERNIÈRE RÉVOLUTION
de la
MER CASPIENNE
(1772)

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(JUILLET, AOUT, SEPTEMBRE 1865)

N° 21

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Constitution des fontes, fers et aciers*, par M. Jullien. (Voir le résumé des séances des 7 et 21 juillet, 18 août et 1er septembre, pages 275, 280, 290 et 298.)

2° *Locomotive électro-magnétique* de MM. Bellet et Ch. de Rouvre. (Voir les résumés des séances du 21 juillet et 15 septembre, page 283 et 305.)

3° *Exposition universelle de* 1867, liste de MM. les membres de la Société des Ingénieurs civils désignés comme membres des comités d'admission pour les groupes 2 à 10. (Voir le résumé de la séance du 18 août, page 287.)

4° *Concours pour la rédaction d'un projet d'amélioration et d'agrandissement du port d'Odessa.* (Voir le résumé de la séance du 18 août, page 288.)

5° *Assainissement de Paris, grand égout collecteur.* (Voir le résumé de la séance du 18 août, page 291.)

6° *Supplément au Guide du mécanicien constructeur et conducteur des machines locomotives,* par MM. Lechatelier, Flachat et Petiet. (Voir le résumé de la séance du 18 août, page 292.)

7° *Raccordement rationnel des voies courbes avec les voies droites*, par M. Chavès. (Voir les résumés des séances du 18 août et 1er septembre, pages 293 et 298.)

8° *Planchette photographique* inventée par M. Auguste Chevallier, par M. Tronquoy. (Voir les résumés des séances du 18 août et 1er septembre, pages 296 et 299.)

9° *L'Espagne industrielle*, par M. de Mazade. (Voir le résumé de la séance du 1er septembre, page 301.)

10° *Appareils employés au soulèvement des fardeaux, au chargement et au déchargement des marchandises*, par M. Maldant. (Voir le résumé de la séance du 1er septembre, page 303, et la note, page 311.)

11° *Gisements de pétrole dans les Carpathes*, par M. Foucou. (Voir le résumé de la séance du 15 septembre, page 306, et la note, page 318.)

12° *Puddleur mécanique* de M. Lemut par M. J. Gaudry. (Voir le résumé de la séance du 15 septembre, page 308.)

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Colladon, membre de la Société, de la part de M. Dufour, un exemplaire d'une note sur *quelques faits relatifs à l'ébullition de l'eau*, et un exemplaire d'une note sur des *recherches sur l'ébullition des liquides*.

2° De M. Malo, membre de la Société, un exemplaire d'une lettre adressée par lui à M. le préfet du département de l'Ain sur *les chemins de fer vicinaux*.

3° De M. Rouyer, membre de la Société, une note sur *la locomotive électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre*.

4° De M. Chavès, membre de la Société, une note sur *un raccordement rationnel des voies, courbes avec les voies droites des chemins de fer*.

5° De M. C. Rosworg, ingénieur des mines, un exemplaire de son ouvrage sur *les métaux précieux*.

6° Un exemplaire du Bulletin de l'année 1864 de l'Association des ingénieurs industriels de Barcelone.

7° De M. Poncin, membre de la Société, un exemplaire de l'*Album contenant les types d'ouvrages d'art et bâtiments du chemin de fer*

d'Orléans, réseau central, étudiés par M. J. B. Krantz, ingénieur en chef de la Compagnie.

8° De l'École impériale des ponts et chaussées, un exemplaire de la *huitième livraison de la collection de dessins distribués aux élèves.*

9° De M. Capuccio, membre de la Société, un exemplaire d'un *Rapport sur les relations commerciales entre la mer Rouge et la mer Méditerranée par suite du percement de l'isthme de Suez.*

10° De M. Armengaud, membre de la Société, le *Programme proposé par le gouvernement russe pour l'amélioration et l'agrandissement du port de la ville d'Odessa.*

11° De la Société des ingénieurs de Londres, un exemplaire de leurs *Transactions pendant l'année* 1864.

12° De M. Ivan Flachat, membre de la Société, un exemplaire d'une *Notice sur les chemins de fer départementaux devant le Cantal et le plateau central.*

13° De M. Sieber, membre de la Société, un *Mémoire sur la fabrication des rails.*

14° De M. Durenne (Antoine), maître de forges, membre de la Société, un exemplaire de son *Album représentant les pièces exécutées dans son usine à Sommevoire* (Haute-Marne).

15° De M. Delesse, ingénieur en chef des mines, un exemplaire de la *Revue de Géologie pour les années* 1862 *et* 1863, par MM. Delesse et Langel.

16° De M. Férot, membre de la Société, un exemplaire de son *Étude sur les chemins de fer en* 1865.

17° De M. Desbrière, membre de la Société, un exemplaire du rapport de M. Baude sur un *système de bagues en fonte destiné à être appliqué à la voie Vignole* inventé par M. Desbrière, et un exemplaire du rapport du capitaine Tyler sur *le chemin de fer proposé par MM. Brassey et C^ie^ pour la traversée du mont Cenis.*

18° De M. Grateau, ingénieur civil des mines, un exemplaire de sa *Revue semestrielle des travaux d'exploitation des mines de métallurgie et de construction, année* 1864.

19° De M. Perdonnet, président honoraire de la Société, un exemplaire de la troisième édition de son *Traité élémentaire des chemins de fer.*

20° De M. Eugène Lacroix, éditeur, un exemplaire de l'ouvrage de

M. Audiganne sur les *Ouvriers d'à présent et la nouvelle économie du travail.*

21° De M. Cavé Amable, membre de la Société, un *Avant-projet d'un égout collecteur reliant tous les égouts qui aboutissent à la Seine entre Paris et Saint-Denis.*

22° De M. Gerbert, membre de la Société, un exemplaire d'une *Notice sur l'emploi de la marée comme force motrice.*

23° De M. Morandière (Jules), membre de la Société, un mémoire sur l'*Exploitation et le matériel des chemins de fer.*

24° De M. Maldant, membre de la Société, un mémoire sur les *appareils employés au soulèvement des fardeaux, au chargement et déchargement des marchandises.*

25° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *le Cosmos.*

26° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la revue *la Presse scientifique.*

27° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la revue *les Mondes.*

28° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *The Engineer.*

29° Les numéros du troisième trimestre 1865 du bulletin de la *Société d'encouragement.*

30° Les numéros du troisième trimestre 1865 du bulletin de la *Société de géographie.*

31° Les numéros du troisième trimestre 1865 du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture.*

32° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *l'Invention.*

33° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la *Revista obras publicas.*

34° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la *Revue des Deux-Mondes.*

35° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la *Revue contemporaine.*

36° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *la Célébrité.*

37° Les numéros du troisième trimestre 1865 du *Journal des Mines.*

38° Les numéros du troisième trimestre 1865 du *Journal de l'éclairage au gaz.*

39° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *l'Isthme de Suez.*

40° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *l'Enseignement professionnel.*

41° Les numéros du troisième trimestre 1865 du *Journal des chemins de fer.*

42° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *la Semaine financière.*

43° Les numéros du troisième trimestre 1865 du journal *El Monitor cientifico industrial.*

44° Les numéros du troisième trimestre 1865 des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.*

45° Le numéro de la 7e livraison de 1864 et la 1re de 1865 des *Annales des mines.*

46° Les numéros de novembre et décembre 1864, et de janvier et février 1865 des *Annales des ponts et chaussées.*

47° Le numéro de la 4e livraison de 1864 des *Publications administratives.*

48° Le numéro de mai et juin 1865 du Bulletin de la *Société de Mulhouse.*

49° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

50° Les numéros du troisième trimestre 1865 des *Nouvelles Annales de la construction.*

51° Les numéros du troisième trimestre 1865 du *Portefeuille économique des machines.*

52° Les numéros du troisième trimestre 1865 de l'*Album pratique de l'art industriel.*

53° Les numéros du troisième trimestre 1865 des *Nouvelles Annales d'agriculture.*

54° Les numéros du troisième trimestre 1865 des *Annales télégraphiques.*

55° Les numéros du troisième trimestre 1865 de la *Propagation industrielle, revue des arts et manufactures.*

56° Les numéros du troisième trimestre 1865 des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences.*

Les Membres nouvellement admis comme Sociétaires sont les suivants :

Au mois de juillet :

MM. Bertrand, présenté par MM. Callon, Delannoy et Muller (Émile).
Boire, présenté par MM. Chobrzynski, de Fonbonne et Loustau.
Couard, présenté par MM. Brüll, Hallopeau et West.
Dez, présenté par MM. Degousée, Ch. Laurent et Salvetat.
Delsa, présenté par MM. Deperais, Geyler et Huet.
Guénivet, présenté par MM. Callon, Estoublon et Thomas.
Laurens, présenté par MM. Ckiandi, Goschler et Pot.

Au mois de septembre :

MM. Lejeune, présenté par MM. Bianchi, Flachat et Love.
Paget, présenté par MM. Gaget, Pouchet et Salvetat.
De La Portilla, présenté par MM. Bertrand, Étienne et Lartigue.
Prudon, présenté par MM. Asselin, Péligot et Servier.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IIIe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1865

Séance du 7 Juillet 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT, après avoir mis aux voix la rédaction du procès-verbal de la dernière séance, ouvre la discussion sur les communications de M. Jullien.

M. LOISEAU demande la parole pour faire quelques observations sur cette théorie telle qu'elle a été développée par l'auteur.

Ainsi, pour démontrer que, dans aucun cas, le fer ne se combine avec le carbone, M. Jullien invoque trois faits auxquels M. Loiseau demande à répondre dans le même ordre que celui qui est indiqué dans les comptes rendus de la Société, page 82.

1° L'eau, chargée d'iode ou de brome, ne doit pas être considérée comme un dissolvant neutre; elle peut être un agent de décomposition;

2° Parce qu'on ne peut former une combinaison *intégrale* et définie lorsqu'on met deux corps en présence, il n'en faut pas conclure pour cela qu'il n'y a pas combinaison.

M. LOISEAU cite, comme exemple, le fait suivant signalé par M. Boivin et par lui dans une étude qu'ils ont faite en commun :

La chaux hydratée mise au contact de l'eau sucrée forme un sucrate d'hydrate de chaux soluble à la faveur d'un excès de *sucre indispensable à la réaction*. Aussi, quelle que soit la proportion d'hydrate de chaux ajoutée, ce sucre libre, *dont la quantité augmente avec la température de la liqueur sucrée*, ne participera pas à la formation du sucrate à trois équivalents d'hydrate de chaux. Ce fait, qui montre que deux corps en contact peuvent former une combinaison définie avec une *portion seulement* de l'un des composants, quelle que soit la proportion de l'autre, nous conduit à écarter aussi de la discussion le second fait cité par M. Jullien.

3° Quant au troisième fait invoqué par M. Jullien, M. Loiseau le considère comme un très-sérieux argument pour repousser non-seulement l'hypothèse de Karsten, qui considère les aciers et les fontes comme des *dissolutions d'un carbure de fer dans le fer*, mais aussi l'hypothèse des chimistes qui considèrent les aciers et les fontes

comme des *combinaisons en proportions indéfinies;* car, si l'hypothèse de Karsten était exacte, il est probable que, par un refroidissement lent de la fonte, il se *déposerait un carbure de fer.* Si, au contraire, les autres chimistes étaient dans le vrai, il me semble que, par un refroidissement lent de la fonte, il ne *devrait rien se déposer.*

Mais alors ce carbone qui se *précipite* ainsi était donc dissous? C'est l'opinion de M. Loiseau. De même que M. Jullien, il pense que *le carbone qui se dépose* par un refroidissement lent de la fonte liquide était *dissous* et non *combiné.* Quel était son dissolvant? Pour M. Jullien, c'était le fer.

Sans repousser irrévocablement cette hypothèse de M. Jullien, M. Loiseau dit qu'il hésite beaucoup à admettre que le fer, *corps infusible* à la température de la réaction, puisse non-seulement *absorber du carbone*, mais encore *devenir fusible* sous l'influence d'un corps *aussi infusible que le carbone.* Il ajoute en passant que, si le fer avait la propriété que lui attribue M. Jullien, il y aurait lieu de modifier la définition qu'il a donnée de la dissolution; attendu que les propriétés de celles-ci doivent *participer* de celles de ses composants. Cela n'a pas précisément lieu ici, puisqu'il résulte du contact de deux *corps infusibles* un produit *fusible.*

A quoi donc alors attribuer *cette fusibilité des aciers et des fontes*, ainsi que la *solubilité du carbone* dont une *partie se dépose à l'état de graphite?* M. Loiseau pense que ces propriétés peuvent être attribuées à un *carbure de fer,* non dissous dans le fer, comme l'admettait Karsten, mais à un carbure de fer (en proportions définies, bien entendu) pouvant se liquéfier sous l'influence d'une température convenable et communiquer aux aciers la fluidité qu'on leur connaît; il aurait en outre la propriété de dissoudre du carbone pour constituer les fontes[1]. De sorte que la différence à établir entre les aciers et les fontes réside en ce que les aciers ne contiennent que du fer et du carbure de fer; tandis que les fontes contiennent, en outre, du carbone dissous par le carbure de fer. Quand on laisse refroidir la fonte lentement, celle-ci laisse déposer à l'état de graphite tout le carbone que le carbure de fer ne peut dissoudre lorsqu'il passe à l'état solide.

C'est évidemment ce carbure de fer qui chemine de molécule à molécule dans le cas de la cémentation, et non le carbone, comme il résulte de l'hypothèse de M. Jullien. Ce cheminement du carbure de fer de molécule à molécule, dans le cas de la cémentation, conduit d'ailleurs à cette conclusion que, en recuisant convenablement des barres de fer irrégulièrement cémentées, on arriverait à obtenir des produits homogènes, car, à cette température, le carbure de fer pourrait, avec le temps, se propager d'une manière uniforme; il conduit également à penser que l'on pourrait aciérer de plus en plus des pièces de fer en les soumettant tour à tour à la cémentation, puis à un recuit convenable.

Ce qui précède repousse, comme on le voit, toute idée de combinaisons en proportions indéfinies dont la science pourrait facilement se passer, qu'elles soient produites sous l'influence de l'affinité capillaire ou de toute autre affinité. Il est probable que ces combinaisons en proportions indéfinies peuvent se ranger : 1° dans la classe des

1. En général, lorsqu'il *résulte du contact de deux corps un produit plus fusible que le plus fusible de ces deux corps, cette propriété doit être attribuée à la formation d'un composé défini qui devient dissolvant.* Cette manière de voir, applicable quand les réactions sont produites par le contact de plus de deux corps. Exemple de cet alliage fondant à 95° environ et de ceux qui ont été très-employés pour plaques fusibles.

sucrates de chaux où le *composé formé est dissous* (en quantité plus ou moins variable avec la température) à la faveur du *composant sucre;* et 2° dans la classe des aciers et fontes où c'est le *composé* qui dissout *ses composants* (à moins qu'on n'ait à faire à des mélanges).

L'hypothèse du carbure de fer permet d'expliquer en outre pourquoi, dans les fontes, il y a une partie de carbone *attaquable* par les acides étendus (pour former avec l'hydrogène naissant un carbure d'hydrogène), tandis que l'autre partie de carbone à l'état graphiteux est *inattaquable*. L'hydrogène naissant aurait, en effet, dans le premier cas, la propriété de s'unir au carbone naissant provenant de la décomposition du carbure de fer; tandis que le carbone à l'état graphiteux, n'ayant pas les formes atomiques propres, nécessaires à la combinaison, resterait comme résidu. Cette hypothèse conduit encore aux conclusions suivantes :

1° Les aciers doivent être d'autant *plus fusibles* qu'ils renferment *plus de carbone;*

2° Les fontes provenant d'un *même acier* doivent être d'autant *plus fusibles* qu'elles renferment *moins* de carbone.

C'est ce que vérifie la pratique. Tandis que l'hypothèse de M. Jullien conduit à cette conclusion, que les *fontes* et *aciers* doivent être d'autant *plus fusibles* qu'ils renferment *plus de carbone*, puisque leur fusibilité est due à la présence du carbone. On sait que cette conclusion n'est pas d'accord avec la pratique, en ce qui concerne les fontes provenant d'un même acier.

M. Loiseau ne parle pas des conclusions auxquelles seraient conduits les amateurs de combinaisons en proportions indéfinies, d'une part, et les partisans de la théorie de Karsten, d'autre part, puisqu'il a fait voir que les deux hypothèses étaient inadmissibles.

Quant à la différence de fusion de la fonte blanche et de la fonte grise, provenant d'une même fonte liquide, M. Jullien pense que la fusion de la fonte blanche se manifeste à une température plus basse que celle de la fonte grise, parce que, « dès que la fonte blanche a atteint la température du rouge cerise, la cristallisation du carbone est entièrement détruite et la fusion commence; mais si la chaleur ne s'élève pas, le fer rejette à l'état de graphite la portion de carbone qu'il ne peut dissoudre solide, et alors la fusibilité diminue d'autant plus que la température reste plus longtemps stationnaire. Si bien que, au bout d'un certain temps, il faut chauffer autant pour remettre le composé en fusion que s'il s'agissait de fonte grise. »

M. Loiseau préfère comparer cette *différence de température de fusion* de la fonte blanche et de la fonte grise, à celle que l'on observe pour le soufre *mou* et le soufre ordinaire, et lui *attribuer la même cause*.

On sait que le *soufre ordinaire* (celui qui a été refroidi lentement) fond à 111° environ. Pour fondre du soufre *mou* (celui qui a été refroidi brusquement lorsque sa température était de 230°), il suffit d'élever sa température de 90 à 95° seulement. On constate alors que sa température s'élève d'elle-même progressivement à l'intérieur jusqu'à 111°, et le soufre fond. Il y avait évidemment là un emmagasinement de chaleur, à un état qu'on peut se dispenser de connaître, laquelle chaleur est devenue sensible sans qu'il y ait *aucune cristallisation détruite*. Pourquoi alors en voir une dans le cas de la fonte blanche? Pourquoi ne pas admettre, ce qui a été constaté pour le soufre, que la fonte blanche, chauffée au rouge cerise, s'échauffe de plus en plus (sous l'influence de la chaleur latente), jusqu'à acquérir cet état pâteux dont parle M. Jullien? Comme, arrivé à ce point, on ne communique pas à cette fonte la

température nécessaire pour la maintenir en fusion, il s'établit bientôt un équilibre de température du corps avec le milieu dans lequel il est plongé; et le carbone, qui ne peut être dissous à cette température, se dépose (par suite de l'abaissement progressif de la température de la fonte blanche), comme cela a lieu pour la fonte grise.

M. Jullien pense également que le silicium ne se combine pas avec le fer; on dit cependant dans quelques traités récents que le soufre, le phosphore, expulsent des fontes le silicium à l'état de siliciure de fer. M. Loiseau appelle l'attention de M. Jullien sur ce fait.

Quant aux effets de la trempe, M. Loiseau les attribue, de même que M. Jullien, à un changement de volume ou d'état physique des corps. Seulement, pour M. Jullien, les corps que l'on trempe sont des *dissolutions de carbone dans le fer*, par suite les propriétés nouvelles des aciers sont dues au carbone; tandis que, pour M. Loiseau, le *dissolvant est un carbure de fer* auquel il rapporte les propriétés nouvelles du fer aciéré.

Arrivant maintenant aux alliages, les idées émises par M. Loiseau sur la constitution des fontes et des aciers font pressentir que dans un alliage il y aura une combinaison toutes les fois que la *fusibilité* de l'alliage se manifestera à une température *plus basse* que celle du composant le plus fusible. Il ne veut pas dire pour cela que cette combinaison sera intégrale, mais elle sera toujours définie; elle pourra en effet dissoudre l'un ou l'autre de ses composants. Les raisons données par Berzélius sont encore, pour lui, une preuve de combinaison.

M. Loiseau termine en faisant remarquer à M. Jullien qu'il n'a pas bien saisi les raisons qui lui font croire que les hydrates de baryte, de chaux, etc., ne sont pas des combinaisons.

M. Loiseau, prenant, par exemple, l'hydrate de baryte :

1° Le corps résistant à une température de 200°, il en résulte que l'eau ne possède pas les mêmes propriétés qu'à l'état libre; elle n'est donc pas simplement dissoute, puisque d'après M. Jullien la dissolution *participe* des propriétés de ses composants;

2° L'hydrate de baryte renferme l'eau et la baryte dans le rapport de leurs équivalents;

3° Il y a de fortes raisons de croire que l'*hydrate de baryte* peut entrer en combinaisons et y jouer le rôle d'une base.

Il cite un exemple :

Dans un travail qu'il a fait avec M. Boivin, ces messieurs ont établi la formule du sucre anhydre et du sucre cristallisé; ils ont fait connaître un sucrate à *trois équivalents d'oxyde de plomb*, qui les a conduits à formuler en ces termes la loi qui régit les réactions des bases au contact de l'eau sucrée : Chaque équivalent des bases susceptibles de former des sucrates se substitue à un équivalent d'eau dans le sucrate d'eau.

Or, si l'on fait réagir l'hydrate de baryte au contact des dissolutions sucrées, le sucrate qui se forme ne correspond pas au sucre prismatique (qu'ils ont démontré être un sucrate tribasique d'eau), où un équivalent de *baryte* a pris la place d'un équivalent d'eau; mais bien où un équivalent d'*hydrate de baryte* s'est substitué à un équivalent d'eau. C'est ce qui a conduit M. Péligot, de l'Institut, à considérer avec raison, dans ce cas, l'hydrate de baryte comme jouant le rôle de base : il semble à M. Loiseau qu'il y a là autre chose qu'une dissolution de l'eau solide dans la baryte;

il y a une grande affinité qui retient ces deux corps : en un mot, il y a combinaison.

M. Jullien répond qu'il ne peut réfuter les arguments de M. Loiseau qu'après les avoir examinés avec soin; quant à présent, il se contente de constater qu'on admet avec lui que, en ce qui concerne les fontes et aciers, les phénomènes de la trempe sont exclusivement dus à l'état de dissolution du carbone et aux deux structures qu'affecte l'état solide des corps, suivant la vitesse avec laquelle, pris liquides, ces derniers se sont solidifiés. Il se refuse absolument à admettre que le carbone se combine avec le fer; la meilleure démonstration de son opinion, à cet égard, est l'impossibilité dans laquelle sont les chimistes de démontrer le contraire. C'est en vain qu'on invoque le mémoire inséré par M. *Berthier* dans les *Annales des Mines* en 1833. Ce mémoire ne prouve qu'une seule chose, c'est que M. *Berthier* en 1833, comme M. *Fremy* en 1861, s'est beaucoup trop hâté d'annoncer comme acquis ce qui n'était que désiré par lui. Si la fonte grise, attaquée par les acides, donne pour résultat de la réaction du carbone combiné et du carbone libre, cela tient à ce que ce composé est un mélange de carbone libre et de carbone en dissolution dans du fer. Le carbone dissous se combine, le carbone libre est inattaquable. La chimie organique repose tout entière sur cette faculté dont jouissent les corps à l'état de dissolution d'être sensibles à des réactions que, libres, ils ne comportent pas.

M. Jullien regrette que le nombre de ses adversaires ne soit pas plus considérable. Il comprend que la question générale qui fait l'objet de son mémoire est plutôt du ressort de l'Académie des sciences que de celui de la Société des ingénieurs civils; mais les théories des *fontes*, des *aciers*, des *verres*, des *poteries*, du *bronze mou*, intéressent plus particulièrement la Société des ingénieurs civils que tout autre corps savant. Comme, suivant lui, ces théories sont des corollaires de sa théorie générale, si l'on veut connaître les corollaires, il faut absolument aborder la question principale qui, d'ailleurs, est à la portée de tous les ingénieurs connaissant la physique et la chimie.

M. le Président répond à M. Jullien que, si le nombre des membres qui prennent part à la discussion n'est pas plus considérable, c'est sans doute parce que rien n'est plus difficile que de discuter sur de simples interprétations; il regrette, quant à lui, que M. Jullien n'ait pas produit à l'appui de sa théorie de nouvelles observations pour repousser l'idée absolue de combinaison; il craint d'ailleurs qu'à ce point de vue l'opinion de l'auteur ne soit exagérée. De ce que, dans certaines circonstances, il y a séparation des éléments d'une combinaison, faut-il admettre qu'il n'y a jamais eu de combinaison? Il est certain que le carbonate de chaux forme une combinaison, et non une dissolution; cependant à une température déterminée, il y a dissociation. Il faudrait donc tenir compte de la température à laquelle les différentes observations ont été faites.

Dans certains alliages, il y a combinaison; et ce qui le prouve, c'est qu'il y en a qui cristallisent, et les cristaux répondent dans leur composition à des proportions définies.

M. Jullien répond que la cristallisation n'est pas un indice incontestable de combinaison, et qu'il ne croit pas aux proportions définies dans les alliages.

M. le Président ne voit aucune raison de ne pas admettre le carbure de fer dont a parlé M. Loiseau. En ce qui concerne la constitution des verreries et poteries, il ne voit pas qu'il faille modifier les idées admises jusqu'à ce jour pour rapprocher les composés céramiques des fontes et aciers. Partisan de la dissolution des

corps solides les uns par les autres, il apportera quelques faits à l'appui de cette théorie, basés sur des observations nouvelles tirées des phénomènes de coloration. Il renouvelle la promesse qu'il a faite, et cette question sera traitée prochainement par lui dans une note qu'il aura l'honneur de soumettre à la Société.

Personne ne demandant plus la parole, M. le président propose la clôture de la discussion.

M. THOMAS demande que la discussion de la note très-intéressante de M. Jullien soit seulement ajournée, parce que, à cette époque de l'année, les membres de la Société n'ont pas le temps nécessaire pour faire des études en dehors de leurs occupations ordinaires.

M. LE PRÉSIDENT fait observer que la communication de M. Jullien a occupé la Société pendant plusieurs mois, et que la discussion a été portée à l'ordre du jour de toutes les séances depuis longtemps déjà, mais que personne encore ne s'était présenté pour discuter; il tient à le faire constater, afin que le président ne soit pas accusé d'avoir inscrit trop tard la discussion au procès-verbal ou d'avoir clos la discussion sans donner, à ceux des membres que la question intéresse, le temps d'élaborer les communications de M. Jullien; il ajoute qu'il a directement écrit à plusieurs membres de la Société pour les engager, en assistant à la séance, à venir apporter le fruit de leurs études; M. Thomas a été directement convié.

M. LE PRÉSIDENT ne demande pas mieux que d'ajourner cette discussion; d'ailleurs, la Société est toujours libre de régler elle-même l'ordre du jour, et toutes les observations qui se produiront n'importe à quelle époque trouveront place dans les comptes rendus.

M. LIMET appuie l'ajournement demandé, parce que, selon lui et selon les gens pratiques, il faudrait, à l'appui de ce qu'a dit M. Jullien, beaucoup d'expériences dans lesquelles on tiendrait compte de toutes les circonstances, et particulièrement de l'effet du calorique aux différentes températures.

La discussion sur la théorie de M. Jullien est maintenue à l'ordre du jour de la séance du 21 juillet.

MM. Bertrand, Couard, Dez et Guenivet ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 21 Juillet 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

La séance est ouverte à 8 heures 1/2. Le procès-verbal de la séance du 7 juillet est lu et adopté.

M. JULLIEN demande la parole pour répondre à M. Loiseau :

1° Si, pour démontrer que le fer et le carbone ne se combinent pas, il a invoqué l'action de l'*iode* ou du *brome* sur l'acier, c'est parce qu'on a eu recours à la même

action pour démontrer qu'ils se combinent. Aujourd'hui encore, on lui dit que, quand le résidu est du carbone pur, c'est parce qu'on a employé trop de réactif; il répond : « Quand le résidu contient du fer, c'est parce qu'on n'en a pas employé « assez. »

2° Ce n'est pas lui qui a eu recours, le premier, au fait de la cémentation indéfinie, pour démontrer que le fer et le carbone ne se combinent pas, c'est un chimiste; en effet, on lit dans Cahours (2e édition, tome II, § 728) :

« Il est inconcevable que le fer mis en présence d'un excès de carbone, à une tem- « pérature convenable, n'en absorbe jamais que 5,25 0/0 du composé, c'est-à-dire « ne se combine avec lui qu'en partie et non en totalité. »

3° Ce qui empêche M. Loiseau d'admettre, avec lui, que le fer et le carbone sont à l'état de simple dissolution dans l'acier et dans la fonte liquide ou trempée, c'est l'infusibilité de ces composants. Ne constate-t-on pas tous les jours que tel sel, infusible seul au-dessous de la température rouge, entre en fusion à la température ordinaire dès qu'on le soumet à l'action de la force dissolvante de l'eau? La force dissolvante agit sur les corps comme le calorique; c'est un axiome de la chimie.

4° M. Loiseau dit que, du moment où la fusibilité d'un corps augmente sous l'influence de la dissolution, il ne faut pas dire que les propriétés du composant sont les mêmes dans le composé que quand il est pur.

M. Jullien répond qu'il faut distinguer entre les propriétés inhérentes au corps et celles inhérentes aux éléments matériels de ce dernier, entre les propriétés physiques et les propriétés chimiques. La fusibilité est une propriété physique; que le fer soit rendu plus ou moins fusible, il est toujours du fer.

5° M. Loiseau pense que les aciers diffèrent des fontes en ce que, chez eux, il n'y a, en plus du fer, qu'un carbure de fer à proportion définie, tandis que, dans les fontes, il y a, outre du fer et du carbure de fer, du carbone, dissous dans ce dernier, qui se dépose par refroidissement lent. Or *Karsten* prétend et démontre, à sa manière, qu'il y a identité entre l'acier trempé et la fonte blanche; M. Jullien le prétend aussi et le démontre à sa manière. Il conviendrait que M. Loiseau démontrât qu'il n'en est pas ainsi.

En terminant, M. Jullien croit devoir rappeler que, dans la séance du 17 mars, il avait dit :

« Toute la théorie des *fontes et aciers* se résume donc à une question d'*interpréta-* « *tion* du mot alliage, et non à la découverte de faits nouveaux; tout a été dit sur ces « composés. »

Et, « si, au pis aller, on admet que ses démonstrations, en faveur de la simple « dissolution, ne sont pas plus concluantes que celles des chimistes partisans de la « combinaison, qu'on veuille bien se reporter aux explications qui dérivent des deux « théories. La démonstration, *à priori* étant insuffisante, celui-là doit être dans le « vrai qui confirme sa théorie par l'explication des phénomènes qu'accusent les com- « posés qu'il envisage. »

Il regrette que l'on discute sur les interprétations, parce que, dans ce cas, on perd du temps, sans se mettre d'accord; il préférerait que l'on examinât seulement les conséquences des interprétations dans les deux cas, attendu que, quand une explication est bonne, non-seulement on repousse les autres, mais on admet, sans contrôle, le principe sur lequel elle repose.

M. Jullien propose l'exemple suivant de la voie qu'il aurait désiré voir suivre par la Société :

Il prend une baguette de *bismuth* et essaye de la plier : elle rompt net et accuse une texture cristalline. Il en prend une autre de *plomb* : elle plie longtemps avant de casser, et accuse une texture fibreuse. Il en prend une troisième, d'*étain* : elle plie sans rompre, et fait entendre un craquement, comme si l'enveloppe était de *plomb* et le centre de *bismuth*. *Berzélius* dit (tome II, page 554) : « Ce cri provient de ce que la cohésion « qui réunit les molécules de l'étain est détruite. »

M. Jullien dit : « Au moment de la solidification du métal liquide, le refroidissement « extérieur a été assez brusque pour empêcher sa cristallisation, et ce dernier a pris la « structure amorphe ; le refroidissement intérieur, au contraire, a été assez lent pour « permettre au métal de cristalliser. La baguette d'étain est donc composée de deux « couches : l'une intérieure, cristallisée; l'autre, extérieure, amorphe. »

Qu'on examine ce qui se passe quand, pris liquides, les métaux sont refroidis brusquement ou lentement, et l'on appréciera facilement laquelle des deux explications est la bonne.

M. Loiseau répond que, sur les trois faits cités par M. Jullien (*Comptes rendus* de la Société, page 82) comme étant en faveur de la dissolution du carbone dans le fer, il repousse les deux premiers (séance du 7 juillet), qui, selon lui, ne démontraient rien. Il constate aujourd'hui avec plaisir que M. Jullien reconnaît ces deux points, savoir :

1° L'eau chargée d'iode ou de brome ne doit pas être considérée comme un dissolvant neutre;

2° Il *peut y avoir combinaison* lorsqu'on met deux corps en présence, sans que pour cela celle-ci soit *intégrale*.

En réponse aux autres considérations dans lesquelles vient d'entrer M. Jullien, M. Loiseau croit rationnel, lorsqu'il est impossible de donner une démonstration rigoureuse, de choisir, parmi les théories proposées, celle qui rend le mieux compte des phénomènes observés.

Mais il n'admet pas qu'on doive repousser l'examen des interprétations pour ne s'attacher qu'à leurs conséquences. Il considère au contraire comme très-important l'examen du principe ou des principes sur lesquels on bâtit des théories dont l'influence est souvent si considérable pour le progrès de la question à laquelle elles se rattachent.

C'est d'après ces vues que M. Loiseau a attaqué par la base la théorie que M. Jullien a bien voulu appeler à une discussion, en disant (séance du 7 juillet) que M. Loiseau hésitait beaucoup à admettre que « le fer, *corps infusible* à la température de « la réaction, puisse non-seulement absorber du carbone, mais encore *devenir fusible* « sous l'influence d'un corps *aussi infusible que le carbone*. »

M. Jullien répond aujourd'hui qu'il y a tel sel, fusible seul à *la température rouge*, qui fond cependant à la température ordinaire dès qu'on le met au contact de l'eau. Cela est vrai ; M. Loiseau ajoute même qu'il y a des sels qui seuls ne peuvent fondre à aucune température et que la chaleur décompose, mais qui sont très-solubles dans l'eau. Il y a aussi des corps qui sont insolubles dans l'eau et qui sont solubles dans l'alcool, l'éther, etc.

Mais le cas qui nous occupe diffère totalement des précédents, attendu que l'eau, l'alcool, l'éther, etc., sont des liquides, tandis que le fer et le carbone sont tous les deux solides. Il n'y a rien d'étonnant qu'un liquide puisse désagréger et dissoudre un solide ; mais il trouve fort surprenant qu'un solide en dissolve un autre.

M. Jullien demande en outre à M. Loiseau comment il démontre que l'acier trempé diffère de la fonte blanche.

M. Loiseau pense que la démonstration en est donnée par les faits suivants :

1° Avec de la fonte blanche on peut faire de la fonte grise ; on n'en fait pas avec de l'acier trempé.

2° L'acier ne laisse pas déposer de graphite lorsque, après l'avoir liquéfié, on le laisse refroidir lentement ; la fonte blanche en laisse déposer dans les mêmes circonstances.

3° S'il y avait identité entre la fonte blanche et l'acier trempé, comme le croyait Karsten et comme l'affirme M. Jullien, il devrait y avoir identité entre la fonte grise et l'acier non trempé, puisque, pour lui comme pour M. Jullien, les effets de la trempe sont dus à des phénomènes physiques et non à des phénomènes chimiques. Seulement, M. Jullien attribue au carbone les propriétés nouvelles des corps trempés, tandis que M. Loiseau les attribue au carbure de fer.

4° Si l'acier trempé et la fonte blanche étaient identiques, on ne comprendrait pas pourquoi il est si difficile de faire de bons aciers avec de la fonte blanche ; tandis qu'il est très-possible de faire de la fonte blanche avec des aciers : il suffit de leur faire dissoudre du carbone et de les refroidir brusquement.

M. le Président remercie MM. Loiseau et Jullien des observations qu'ils viennent de présenter, et prévient les membres qui auraient encore quelques documents à fournir qu'ils seront à même de les produire dans les prochains comptes rendus.

M. Rouyer, dans une note dont il donne communication à la Société, dit qu'il croit devoir rectifier ce fait énoncé par M. de Bruignac, comme un principe rigoureux, qu'avec la locomotive électrique de MM. Bellet et de Rouvre, la puissance de traction est indépendante de la charge sur l'essieu moteur.

Des considérations d'équilibre du système, il arrive à conclure que ce fait n'est rigoureusement vrai que tant que l'aimant agit entre la verticale passant par l'axe de l'essieu moteur, et une ligne inclinée sur cette verticale d'un peu moins de 6°. Si l'aimant agit au dehors de cet angle, la roue et l'essieu étant considérés comme sans poids, la roue patinera. De plus, si l'aimant ne travaille que dans la limite de l'angle de 6° maximum, cela conduira à exercer sur le rail, au point de contact de la roue, une pression énorme qui écraserait le rail.

D'un autre côté, les considérations sur le travail de l'électro-aimant conduisent M. Rouyer à conclure que si, sur une roue de 3 mètres de diamètre, par exemple, on place 30 électro-aimants, pour obtenir le maximum d'effet utile il faudra commencer à aimanter l'électro-aimant lorsque son rayon vecteur sera incliné de 19° environ sur la verticale, et cesser de l'aimanter lorsque l'angle ne sera plus que de 7°. En général, avec un rayon quelconque, le fonctionnement de l'électro-aimant devra être réglé de façon que l'aimantation cesse lorsque le rayon vecteur ne fera plus, avec la verticale, qu'un angle de 7 à 8°.

M. Rouyer, pour ces raisons pratiquement incompatibles l'une avec l'autre, conclut que le fait en question, qui n'est pas absolument vrai en théorie, ne l'est pas non plus en pratique, et que l'on devra toujours tenir compte de la charge sur l'essieu moteur, si l'on veut être dans de bonnes conditions d'exécution et d'économie de frais de traction.

Selon lui, la meilleure solution du problème consisterait à supprimer complétement la locomotive, ou appareil spécial de traction, et à placer sur chaque essieu de

wagon, ou sur un seul essieu par wagon si l'on tient à réduire les frais d'installation de préférence aux frais de traction, un appareil moteur de MM. Bellet et de Rouvre. Il conseille aussi d'aimanter à la fois tous les électro-aimants situés d'un même côté de la verticale passant par l'axe de l'essieu, au lieu de n'en aimanter qu'un seul, comme l'ont fait MM. Bellet et de Rouvre; on obtiendra ainsi une plus grande économie de traction.

Passant ensuite à la théorie électro-dynamique, M. Rouyer fait voir quelles relations il y a entre les dimensions d'un élément de pile, la dépense et l'intensité d'un courant; entre le nombre des éléments de pile réunis, les dimensions du fil conducteur, l'intensité du courant résultant, et la dépense totale. Il montre dans quel cas il peut y avoir avantage à réunir les éléments en tension, c'est-à-dire en réunissant deux à deux les pôles de nom contraire, ou en quantités, c'est-à-dire en réunissant ensemble tous les pôles de même nom. Enfin il indique les relations qui existent entre la puissance attractive au contact d'un électro-aimant, le nombre des spires enroulées, l'intensité du courant, et le diamètre du barreau de l'électro-aimant.

L'expérience démontre qu'un électro-aimant est susceptible d'un maximum d'aimantation, au delà duquel la force attractive ne croît plus, bien que l'on augmente le nombre des spires ou l'intensité du courant.

M. Rouyer condamne la disposition qui consiste à avoir une pile fixe à la station, avec deux fils conducteurs le long de la voie, parce qu'il en résulte une diminution graduelle de la puissance de l'électro-aimant à mesure que le train s'éloigne de la station.

Puisque tous les physiciens admettent que le zinc employé dans une pile ne produit pas plus de puissance que si on l'employait comme combustible pour former de la vapeur, M. Rouyer en conclut que les efforts des chercheurs doivent se tourner vers la découverte d'un générateur électrique plus économique que ceux actuellement connus.

M. de Bruignac, répondant à M. Rouyer, reconnaît qu'il a fait usage d'expressions inexactes; mais il n'aurait pas cru qu'on pût attacher à ses paroles le sens que voici, dont l'évidence seule faisait justice: Étant donnée une locomotive électro-magnétique d'un poids quelconque, ce poids n'intervient en rien dans les conditions d'équilibre du système.—Voici quelle était la pensée de M. de Bruignac, qu'il croit encore juste: Dans les locomotives ordinaires, le poids sur l'essieu moteur est condition essentielle de traction. Dans la locomotive électro-magnétique, ce poids joue un rôle parfois indispensable, mais partiel; une traction importante a lieu même si l'on suppose le poids de la locomotive nul. Par conséquent, dans ce système, on peut avoir des locomotives sensiblement moins lourdes que dans le système ordinaire, ce qui est un sérieux avantage.

Après quelques considérations théoriques, que M. de Bruignac n'admet pas complétement, M. Rouyer étudie la traction d'un train de 100 tonnes par une roue motrice de 3 mètres, et trouve qu'il faudrait une attraction magnétique de 62,800 kil. M. de Bruignac, en modifiant dans la formule de M. Rouyer ce qui lui semble de simples inadvertances de calcul, réduit ce chiffre à 21 tonnes environ. Ensuite, posant le calcul dans les conditions qui lui paraissent seules exactes, il trouve que la force d'attraction serait comprise entre 5 et 6 tonnes. C'est tout autre chose que le résultat de M. Rouyer.

M. Rouyer a proposé de remplacer la locomotive électro-magnétique par des appareils analogues beaucoup plus petits placés sur chaque wagon. C'est une idée ingénieuse qui peut être utile, mais que M. de Bruignac n'examinera pas ici. En tout

cas, elle perd de son importance si les calculs de M. Rouyer doivent se modifier, comme l'a indiqué M. de Bruignac.

A l'égard d'autres objections, M. de Bruignac rappelle que MM. Bellet et de Rouvre n'ont étudié leur machine que pour un cas très-spécial; ils n'ont pas fait ni prétendu faire l'étude complète de leur système; il faut tenir compte de cette situation.

Quant aux considérations et lois physiques auxquelles M. Rouyer s'est arrêté, M. de Bruignac croit pouvoir leur adresser l'observation qu'il a déjà faite : Ce sont des rapports et des proportions, bien plus que des bases fixes et industriellement pratiques.

M. DE BRUIGNAC laisse de côté, faute de temps, quelques points du travail de M. Rouyer qui lui paraissent contestables, et plusieurs autres qu'il croit incomplets.

M. DE BRUIGNAC croit utile d'appeler l'attention de la Société sur cette observation générale, qu'au sujet des idées nouvelles il faut redouter les études promptes qui, par leur brièveté, pourraient devenir incomplètes, et par conséquent inexactes; ce qui aurait l'inconvénient de placer d'abord les questions nouvelles sous un faux jour, et de paralyser les études à venir.

M. DE BRUIGNAC, revenant sur des objections qui lui ont été faites le 2 juin, répond à M. Farcot que, dans les machines électro-magnétiques, le courant électrique n'est pas renversé, mais seulement interrompu, ce qui évite les pertes dues au renversement de courant. Il répond à M. Ermel que la dépense au repos serait nulle; car, indépendamment des considérations théoriques, rien n'est plus facile, aux arrêts, que d'interrompre mécaniquement le fonctionnement des piles.

MM. Brüll et Limet ont condamné tout moteur, même électrique, consommant du zinc, par ce seul fait que le zinc est un combustible plus cher que le charbon. M. Limet surtout, s'appuyant sur Liebig, a conclu, dans les termes les plus absolus, qu'il était inutile d'examiner la machine Bellet et de Rouvre au point de vue de la grande traction. M. de Bruignac cite longuement la dixième lettre de Liebig, sur laquelle M. Limet paraît s'être basé, et il croit pouvoir en dégager ces résultats : 1° Bien que le zinc soit un combustible inférieur au charbon *lorsqu'on les brûle à l'air*, rien ne *prouve* que le zinc employé dans la pile ne soit pas préférable au charbon brûlé à l'air; 2° il n'est pas démontré que le zinc brûlé dans la pile développe la même quantité de force que le zinc brûlé à l'air; 3° l'électro-dynamie n'est pas jugée comme force motrice et locomotrice; il faut poursuivre avec courage les recherches dans ce sens. La conclusion de Liebig serait donc bien éloignée de celle de M. Limet.

M. Rouyer a cité, comme opinion générale des physiciens, que, indépendamment des moteurs, « la dépense d'une pile produisant un travail mécanique... est la même que si, avec le zinc comme combustible, on produisait la vapeur nécessaire pour effectuer le même travail. » — M. de Bruignac pense, au contraire, que l'opinion des physiciens, basée sur les faits acquis, devrait se résumer ainsi : Indépendamment des organes d'utilisation, la combustion d'un corps à l'air ou dans la pile dégage la même chaleur, et l'électricité produite lui est proportionnelle. Est-il établi d'une manière quelconque, poursuit M. de Bruignac, que le travail dont une quantité d'électricité est capable soit égal au travail que développerait la chaleur correspondante autrement utilisée? C'est une distinction très-importante.

Il semblerait même résulter de certains faits que l'électricité pourrait développer un travail très-supérieur à celui que réaliserait directement la chaleur qui lui cor-

respond ; en effet, la quantité d'électricité dégagée dans les actions chimiques est énorme. M. de Bruignac cite et étudie deux exemples empruntés à MM. Becquerel et Jamin, qu'il ne donne pas comme une démonstration, mais qui lui semblent frappants, et capables de suspendre la conclusion assez absolue que M. Rouyer a citée.

M. DE BRUIGNAC rappelle quelques avantages spéciaux de la locomotive électro-magnétique : 1° son aptitude à une grande accélération ; 2° son économie, parce qu'elle ne consomme ni au repos, ni pour la mise en marche, et qu'elle pèse comparativement peu.

Quant à savoir si la dépense est indépendante de la vitesse, M. de Bruignac incline à le penser : par des considérations directes frappantes sans être rigoureuses ; par des faits cités le 2 juin, et par certaines lois de MM. Joule et Becquerel.

L'électricité, poursuit M. de Bruignac, ne serait-elle pas du nombre des forces naturelles, comme le vent, une chute d'eau, etc., qui ne coûtent rien industriellement, parce qu'on n'a pas d'autre dépense que celle des organes d'utilisation? Peut-être que l'électricité, une fois dégagée, agit de même dans certaines limites.

M. DE BRUIGNAC conclut seulement que l'électricité paraît encore se plier mal à certains principes admis pour les agents industriels, et qu'il est dangereux de raisonner par analogie entre des ordres si divers. Les lois posées par les physiciens laissent un large champ aux hypothèses ; il ne faut pas juger en dehors de la limite des lois.

Suivant M. DE BRUIGNAC, le véritable état de la question se résume ainsi :

1° La question générale de la traction électro-magnétique est encore trop peu connue pour qu'on puisse la juger. Il serait aussi imprudent de prophétiser absolument son succès que d'affirmer son impossibilité pratique.

2° Le système de locomotive électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre est évidemment efficace dans certaines limites, et peut être préférable à tout autre dans certains cas.

3° Les études et les essais que les inventeurs poursuivent méritent sympathie et encouragement. C'est le sentiment de Liebig, qui l'a hautement manifesté.

MM. Boire, Delsa et Laurens ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 18 Août 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

Le procès-verbal de la séance du 21 juillet est lu et adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société des promotions et nominations qui ont eu lieu dans l'ordre de la Légion d'honneur.

Officiers : M. Tresca, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers, et M. Gaudet, maître de forges, à Rive-de-Gier.

Chevaliers : MM. Bois (Victor), Jolly (César), constructeur à Argenteuil, Marès (Henri), à Montpellier, Mathieu (Henri), ingénieur aux chemins de fer du Midi.

M. LE PRÉSIDENT donne ensuite communication de la liste de MM. les membres de la Société appelés à faire partie des comités d'admission pour les groupes 2 à 10 des produits de l'agriculture et de l'industrie, section française, à l'Exposition universelle de 1867.

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867.

LISTE *de MM. les Membres de la Société des Ingénieurs désignés comme Membres des Comités d'admission pour les groupes 2 à 10.*

2e GROUPE. — MATÉRIEL ET APPLICATION DES ARTS LIBÉRAUX.

CLASSE 12. *Instruments de précision et matériel de l'enseignement des sciences.*
M. Foucault (Léon), *membre de l'Institut.*

3e GROUPE. — MEUBLES ET AUTRES OBJETS DESTINÉS A L'HABITATION.

CLASSE 17. *Porcelaines, faïences et autres poteries de luxe.*
M. Salvetat (Alphonse), *chef des travaux chimiques à la manufacture impériale de Sèvres.*

CLASSE 22. *Bronzes d'art, fontes diverses, objets en métaux repoussés.*
M. Durenne (Antoine), *maître de forges.*

CLASSE 23. *Horlogerie.*
M. Bréguet, *horloger, membre du Bureau des longitudes.*

CLASSE 24. *Appareils et procédés de chauffage et d'éclairage.*
M. Muller (Emile), *professeur à l'École centrale des arts et manufactures.*
M. Ser (Louis), *professeur à l'École centrale des arts et manufactures.*

5e GROUPE. — PRODUITS (BRUTS ET OUVRÉS) DES INDUSTRIES EXTRACTIVES.

CLASSE 40. *Produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie.*
M. Weil, *chimiste.*

CLASSE 44. *Produits chimiques et pharmaceutiques.*
M. Dagain (Ernest), *juge au Tribunal de Commerce.*

6e GROUPE. — INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS DES ARTS USUELS.

CLASSE 47. *Matériel et procédés de l'exploitation des mines et de la métallurgie.*
M. Laurent (Charles), *sondeur.*

CLASSE 50. *Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires.*
M. Pépin Le Halleur (Ernest), *ingénieur.*

CLASSE 52. *Moteurs, générateurs et appareils mécaniques spécialement adaptés aux besoins de l'Exposition.*
M. Callon (Charles), *professeur à l'École centrale des arts et manufactures.*
M. Fourneyron, *ingénieur.*

CLASSE 53. *Machines et appareils de la mécanique en général.*
M. Bourdon, *ingénieur mécanicien.*

CLASSE 54. *Machines-outils.*
M. Houel, *ingénieur-mécanicien.*
M. Morin (Le général).
M. Tresca, *sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers.*

CLASSE. 55. *Matériel et procédés du filage et de la corderie.*
M. Alcan (Michel), *professeur au Conservatoire des arts et métiers.*
M. Frichot, *directeur de la filature de lin, à Pont-Remy (Somme).*

CLASSE 59. *Matériel et procédés de la papeterie, des teintures et des impressions.*
M. Laboulaye (Charles).
M. Poulot, *constructeur-mécanicien.*

CLASSE 62. *Bourrellerie et sellerie.*
M. Noisette, *ingénieur de la Compagnie des Omnibus.*

CLASSE 63. *Matériel des chemins de fer.*
M. Flachat (Eugène), *ingénieur, conseil des chemins de fer de l'Ouest et du Midi.*
M. Mathieu (Henri), *ingénieur au chemin de fer du Midi.*

CLASSE 65. *Matériel et procédés du Génie civil, des travaux publics et de l'architecture.*
M. Pereire (Eugène), *député au Corps Législatif.*
M. Trélat (Émile), *professeur au Conservatoire des arts et métiers.*

10e GROUPE. — OBJETS SPÉCIALEMENT EXPOSÉS EN VUE D'AMÉLIORER LA CONDITION PHYSIQUE ET MORALE DE LA POPULATION.

CLASSE 95. *Instruments et procédés de travail spéciaux aux ouvriers chefs de métier.*
M. Durenne, *mécanicien.*
M. Flaud, *constructeur de machines.*
M. Petitgand, *ingénieur métallurgiste.*

Il est donné communication d'une lettre de M. Armengaud jeune, par laquelle il informe la Société qu'il a reçu le programme suivant, qu'il s'empresse de lui transmettre, dans l'espoir qu'il pourra être utile à certains membres de la Société.

Le gouvernement russe se propose de faire des travaux d'amélioration dans le port d'Odessa.

Un concours est ouvert; il s'adresse aux ingénieurs de tous les pays pour la présentation de projets, d'après le programme ci-dessous.

Quant au plan du port d'Odessa, mentionné dans le programme, MM. les ingénieurs qui voudront concourir pourront s'adresser à M. le directeur général de la Nouvelle-Russie et de Bessarabie, à Odessa, qui s'empressera de mettre ce plan à leur disposition.

PROGRAMME

Du concours pour la rédaction d'un projet d'amélioration et d'agrandissement du port d'Odessa.

Le concours à la rédaction du projet d'amélioration et d'agrandissement du port d'Odessa est établi sur les bases suivantes :

1. Le projet doit contenir, tant les dispositions générales des parties du port que les détails de chaque partie détachée.

2. On doit appliquer au projet le calcul du montant de chaque partie de la construction, avec un exposé suivi d'une description de la marche des travaux et d'un mémoire explicatif, contenant un exposé détaillé de toutes les données, considérations et calculs qui ont servi de base à la rédaction du projet et du dévis.

3. Indépendamment des conditions générales, telles que sécurité de l'abri, facilité de l'entrée et une suffisante profondeur, le port doit répondre aux exigences suivantes :

(*a*) L'emplacement doit pouvoir contenir 400 bâtiments à la fois.

(*b*) Il faut que les quais suffisent à l'embarquement et au débarquement de 2,500 bâtiments au moins, pour le cours de la navigation, qui dure pendant huit mois environ. De plus, il faut prendre en considération que le tirant d'eau des bâtiments arrivant dans le port est différent ; prenant pour base la navigation actuelle, les bâtiments, par rapport au tirant d'eau, peuvent être subdivisés de la manière suivante :

De 25 p. °/₀	avec un tirant d'eau de	16 pieds.
De 70 p. °/₀	id.	16 à 22 pieds.
De 5 p. 100	id.	au-dessus de 22 pieds.

Que la cargaison importée consiste principalement en charbon de terre, fruits et comestibles, machines, etc., le total s'élevant à un poids d'environ 5 millions de pounds, et outre cela d'environ 6 millions de pounds de lest.

La cargaison exportée, consistant en blé, cuirs, suif et autres objets, s'élève à un poids d'environ 30 millions de pounds.

(*c*) Le port, en cas de développement de la navigation, doit être capable d'agrandissement, par le prolongement des constructions.

(*d*) Les constructions doivent être disposées de manière à ne pas retenir les glaces dans le port plus de temps qu'elles n'y restent actuellement, et le préserver, autant que possible, de l'ensablement.

(*e*) Les quais pour l'embarquement doivent être séparés des quais pour le débarquement.

(*f*) Pour éviter les dépenses considérables, les travaux ne doivent point se faire à une trop grande profondeur, sauf les cas urgents.

4. Le terme de la présentation du projet est fixé au 1ᵉʳ mars 1866 vieux style, ou 13 mars nouveau style ; vers ce temps, les projets rédigés doivent être expédiés à Saint-Pétersbourg, au ministère des voies de communication.

5. Chaque projet doit être marqué d'une devise ou emblème, et au projet il faut ajouter une enveloppe cachetée portant la même devise et contenant le nom de famille et l'adresse du concurrent, lisiblement écrits.

6. Les ingénieurs, tant russes qu'étrangers, sont invités au concours.

7. Pour la rédaction du projet, on a les données suivantes :

(*a*) La profondeur des havres et de la rade qui est indiquée sur le plan; on y a aussi marqué l'approfondissement projeté, ainsi qu'une esquisse générale de la construction du port, telle qu'on l'a en vue, jusqu'à la présentation d'autres propositions qui seront faites par les concurrents.

(*b*) Le fond est sablonneux et repose sur une couche de terre glaise, dans laquelle sont parsemés, près du rivage, des bancs de pierres, formés par les éboulements des falaises, contenant des couches de calcaire tendre, d'environ 5 sagènes d'épaisseur.

(*c*) Les constructions existantes s'encombrent, le long du rivage, dans la direction du sud-ouest au nord, d'alluvions de sable, de galets, et en partie par les pierres du pays et par le lest arrivant avec les vaisseaux.

(*d*) Il y a dans le port une espèce de ver marin qui ronge le bois.

(*e*) Le port est pris tous les ans aux mois de décembre et janvier; les glaces le couvrent pendant six semaines, terme moyen.

(*f*) L'horizon varie de 0, auquel se rapportent les sondages au-dessous.

(*g*) La rade est actuellement exposée à tous les vents, excepté celui d'ouest. Le vent régnant est celui d'est, du nord au midi, comme c'est indiqué sur le plan; les vagues les plus fortes sont celles du sud-est.

(*h*) On n'a point observé dans la rade de courants constants; il en existe d'accidentels, prenant différentes directions, mais les courants sont faibles et ne dépassent pas 3/4 de pied par seconde.

8. Les matériaux que l'on trouve sur les lieux sont : le calcaire tendre, d'un poids relatif de 1, 4, et de différentes dimensions; du calcaire dur, menu et spongieux; de la chaux grasse, du sable grossier avec des coquillages; il n'existe point sur les lieux de matériaux naturels pour la confection des mortiers hydrauliques.

Les données qui manquent sont les suivantes :

On ne connaît pas la profondeur et la force des vagues; on ne sait si la pierre du pays possède la qualité suffisante pour les constructions maritimes, ni la qualité du sol du fond de la mer, relativement à la dureté et le degré de résistance du délayement; on ne connaît pas la proportion des matériaux hydrauliques, relativement à la chaux locale, pour les travaux maritimes de la localité.

Pour recueillir toutes les données indispensables pour la rédaction du projet et devis, les concurrents peuvent s'adresser, pour les obtenir, au gouverneur général de la Nouvelle-Russie, à Odessa; il serait également désirable que les concurrents recueillissent eux-mêmes les données nécessaires, en examinant et étudiant les lieux mêmes, ainsi que lors de l'exécution, en cette année, d'une partie des travaux, suivant le projet préalable susmentionné.

MM. les concurrents recevront, dans leurs études des conditions du port, toute espèce d'assistance de la part de l'administration locale.

9. Celui dont le projet sera adopté pour l'exécution, par la Régie générale des voies de communication, obtiendra une prime de 8,000 roubles argent. L'auteur du projet dont le mérite le placera immédiatement après celui adopté recevra un accessit de 2,000 roubles argent.

Les projets incomplets ne seront pas admis au concours.

Il est ensuite donné lecture de la lettre suivante, adressée par M. Jullien, au sujet du compte rendu de la dernière séance dans laquelle il a discuté la note de M. Loiseau :

« Monsieur le Président,

« Ne pouvant assister à la séance de ce jour, je prends la liberté de vous adresser la réclamation suivante, relativement au compte rendu de la séance du 21 juillet.

« Il me semble que la réponse écrite de M. Loiseau diffère considérablement de sa réponse verbale. Sans me refuser à considérer l'iode et le brome comme des réactifs, je crois n'avoir rien dit qui autorise à me considérer comme admettant que « il peut y « avoir combinaison sans que, pour cela, celle-ci soit intégrale, »

« A mes yeux, cette manière de voir est une erreur dont je laisse la responsabilité aux chimistes qui l'admettent. Je ne la discute pas, voilà tout. Je reconnais qu'il a été question, de la part de MM. Loiseau et Boivin, du sucrate d'hydrate de chaux, mais je n'ai pas dit que j'admettais la possibilité d'un pareil composé, surtout quand il exige la présence du sucre et de l'hydrate de chaux libres.

« J'aurais à répondre à M. Loiseau sur les autres points du compte rendu; mais il ne s'agit plus ici de rectification, et, comme la discussion est close, je me tais.

« Il en est de même de la séance du 7 juillet, contre le compte rendu de laquelle je n'ai pas cru devoir réclamer; certainement, si j'avais entendu M. le président me dire que je considère comme dissolutions tous les composés décomposables par la température, j'aurais démontré que je n'ai jamais rien dit de pareil. J'ai prétendu et je prétends encore que l'hydrate de baryte, indécomposable par la température, est une dissolution; cela ne signifie nullement que l'ammoniaque, l'oxyde de carbone, le carbonate de chaux, décomposables par la température, ne sont pas des combinaisons.

« Agréez, monsieur le Président, etc. »

M. le Président regrette de n'avoir pas été compris par M. Jullien; entendant M. Jullien dire qu'il n'y avait pas de combinaison dans les amalgames, parce que chauffés ils perdent du mercure; dans les alliages cristallisés formant le laiton, parce qu'ils perdent sous l'influence de la chaleur une certaine quantité de zinc, bien qu'à l'analyse ces matières présentassent des *proportions définies*, il a craint que M. Jullien, ne poussant à l'extrême son raisonnement, ne vît dans le carbonate de chaux non plus une combinaison, mais une simple dissolution. L'observation de M. Jullien le rassure.

M. le Président rappelle en terminant que, conformément au désir exprimé par M. Thomas, la discussion n'est pas close, en tant que chacun est encore libre de présenter ses objections; loin de là, il invite les membres de la Société à vouloir bien présenter leurs observations au sujet de la théorie dont M. Jullien a demandé l'examen.

M. le Président appelle l'attention de la Société sur la lettre de M. Rey, reproduite ci-après, qui demande le concours des membres de la Société pour étudier les améliorations qu'il serait désirable d'apporter au régime actuel du grand égout collecteur, dont les eaux se déversent dans la Seine à Asnières.

« Monsieur le Président,

« L'administration municipale assainit Paris au moyen des égouts collecteurs, mais en même temps elle reporte l'infection dans la vallée de la Seine en aval.

« Dans cette question si grave, les délais apportés à l'amélioration du sort des habitants de cette vallée sont déplorables.

« D'un autre côté, la solution présente des difficultés.

« C'est vous dire, monsieur le Président, que le concours de la Société des Ingénieurs civils pourrait rendre un éminent service. Nul doute que les talents qu'elle réunit ne trouvent les moyens d'apporter un prompt remède à un mal devenu aujourd'hui intolérable.

« Permettez-moi donc, monsieur le Président, de compter sur ce concours et de vous en exprimer d'avance la plus grande reconnaissance au nom des populations qui m'ont chargé de les représenter.

« J'ai l'honneur d'être, etc. « J. Rey,

« Propriétaire, quai de Seine, 47, à Asnières. »

M. le Président s'associe aux vœux de M. Rey, et il invite les membres de la Société qui se sont occupés de cette question à vouloir bien faire connaître le résultat de leurs études ou faire part de leurs idées.

M. Tronquoy donne communication d'une analyse du *Supplément au Guide du mécanicien constructeur et conducteur des machines locomotives*, par MM. Lechatellier, Flachat, Pétiet et Polonceau :

« Le développement rapide des chemins de fer en Europe et les conditions nouvelles « des lignes récemment construites ont amené pendant ces dernières années d'impor- « tants progrès dans l'établissement du matériel de traction.

« Des types nouveaux de locomotives ont été créés, des améliorations ont été appor- « tées aux diverses parties des machines depuis la publication de notre seconde édi- « tion en 1858.

« L'étude de ces perfectionnements, dont quelques-uns seulement ont donné lieu à « des travaux isolés dans les publications spéciales, ne peut guère se faire qu'en fré- « quentant les dépôts et les ateliers de nos principaux chemins de fer.

« Nous avons voulu éviter ces difficultés à nos lecteurs en leur présentant dans ce « supplément une revue de ce qui s'est fait de nouveau dans la construction des loco- « motives pendant ces six dernières années. »

C'est en ces termes que commence la préface du *Supplément au Guide du constructeur et conducteur de machines locomotives* de MM. Pétiet, Flachat, Lechatellier et Polonceau, dont je voulais, messieurs, vous entretenir, il y a quelque temps déjà.

Tout le monde connaît l'ouvrage paru en 1858 et chacun de nous l'a consulté avec fruit; les lignes que j'ai citées plus haut indiquent trop bien le but du supplément pour qu'il soit utile d'insister sur ce point.

Je craindrais d'abuser de vos moments en résumant chacune des nombreuses questions qui sont traitées, peut-être un peu sommairement, dans la publication, et qui d'ailleurs ont été pour la plupart l'objet des études et des discussions de la Société, et je me bornerai à citer les titres des principaux chapitres :

Accroissement de puissance des machines à grande vitesse.

Recherche des moyens de franchir les courbes de faible rayon.

Accroissement de puissance des machines à marchandises, tant pour gravir les fortes rampes que pour remorquer des trains plus lourds sur les lignes de construction ordinaire.

Production économique de la vapeur par l'emploi des combustibles les plus avantageux.

Injecteur automoteur Giffard et ses diverses modifications pour l'alimentation des chaudières, etc., etc.

Il faudrait, pour indiquer tous les documents utiles recueillis dans ce livre, citer presque chaque page, et alors il serait préférable de vous donner lecture du livre entier, rédigé avec le plus grand soin par M. Brüll, qui a su dire nettement beaucoup de choses en peu de mots.

M. Chavès donne ensuite communication de sa note sur un raccordement rationnel des voies courbes avec les voies droites.

La difficulté que présente ce raccordement est la suivante : on sait que le mouvement curviligne des trains donne naissance à une force centrifuge, qui, se combinant avec l'effet de la pesanteur, produit une résultante de pression plus ou moins inclinée par rapport à la verticale, et qui, par conséquent, ne peut être normale au plan des voies que tout autant que ce dernier recevra un certain dévers transversal, dont la grandeur se trouve exactement déterminée par la vitesse de marche du train, et le rayon de courbure de la voie.

L'expression de ce dévers est en effet :

$$Z = \frac{4,50.V^2}{9,8.R}.$$

Il en résulte qu'au point de tangence, où la voie cesse d'être droite pour commencer à prendre la courbure de rayon R, le surhaussement Z devrait naître tout entier, par un seul ressaut brusque.

Or, ce ressaut brusque n'étant pas possible dans la pratique, l'usage est de racheter ce surhaussement à l'aide d'un plan plus ou moins incliné, que les uns préfèrent placer avant le point de tangence, les autres après, quelques-uns à cheval sur ce même point.

Mais, quelle que soit la valeur relative de ces différentes dispositions, comme la modification ne porte que sur les profils en long ou en travers de la voie, et nullement sur le tracé en plan, elles n'en aboutissent pas moins, toutes, soit à donner du dévers transversal à une voie droite, soit à n'en pas donner suffisamment à une voie courbe, ce qui, en tout cas, place le train en mouvement dans une position inclinée par rapport au plan des voies, sur lequel il ne peut conserver sa stabilité qu'au détriment des parties en contact des rails et des roues.

L'on s'est alors demandé s'il ne serait pas possible, sans compliquer sérieusement le travail de la pose des voies, de placer le plan incliné sur une courbe auxiliaire de raccordement dont les rayons de courbure successifs, variant depuis le rayon infini de la ligne droite jusqu'au rayon de la voie circulaire, présenteraient en chaque point du tracé la courbure qui convient au surhaussement du même point sur le plan incliné.

Telle est la question que l'on s'est proposé de traiter dans le mémoire.

Le travail en est divisé en trois parties :

La première est relative au calcul de la courbe de raccordement ; la seconde à l'introduction de la courbe dans la pose de voie circulaire ; et la troisième se compose d'applications numériques du raccordement, dans des conditions déterminées.

Le calcul de la courbe est fait par deux méthodes différentes :

La première, qui est une application de l'expression du rayon de courbure d'une pièce légèrement infléchie $\varphi = \frac{1}{F''(x)}$, laquelle conduit à l'équation

$$y = \frac{9,8p}{9V^2} x^3,$$

dans laquelle y et x sont les coordonnées de la courbe cherchée, par rapport à l'alignement droit et au rayon infini de l'origine de la courbe ;

p est l'accroissement régulier de surhaussement par mètre courant de voie ;

Et V la vitesse de marche du train.

Cette expression montre qu'il y aura autant de types de courbes à calculer que l'on fera d'hypothèses différentes sur les valeurs de p ou V.

Mais, à cela près, elle donne un lieu géométrique facile à construire, et il n'y aurait pas lieu de rechercher d'autre méthode de calcul, si celle-ci n'était fondée sur l'hypothèse d'inflexion très-légère de la courbe, hypothèse dont la réalisation ne peut être considérée *à priori* comme certaine, surtout pour le cas de raccordement avec des cercles de petit diamètre.

C'est cette incertitude qui a conduit à rechercher une seconde méthode de calcul.

Cette méthode consiste à regarder la courbe comme un polygone, ce qui est d'ailleurs conforme à la réalité de la pose des voies, et à considérer chaque côté comme la corde d'un arc décrit avec le rayon de courbure qui convient au surhaussement moyen de ce côté.

Les résultats obtenus soit par cette méthode, soit par la précédente, peuvent servir à se contrôler mutuellement, les applications numériques montrant que ces résultats ne diffèrent pas très-sensiblement les uns des autres.

La courbe de raccordement ainsi calculée, il s'agit de l'intercaler entre l'alignement droit et la courbe circulaire.

Ici encore se présentent deux moyens :

Le premier, qui est en même temps le plus mathématiquement exact, consiste à placer la courbe de raccordement tangente à la fois à l'alignement et au cercle.

Mais, dans ce cas, l'axe de la voie circulaire devrait être déplacé parallèlement à lui-même dans tout son développement. C'est un inconvénient qui a paru assez sérieux pour faire chercher à l'éviter, même en sacrifiant un peu de l'exactitude mathématique.

Tel est, en effet, l'objet du second procédé, dans lequel on se contente de placer bout à bout l'arc de cercle, et la courbe à rayons variables limitée au point où elle a le même rayon que l'arc de cercle.

Le défaut de ce procédé est de ne pas donner rigoureusement un raccordement parfait au point de soudure.

Mais on reconnaît que ce défaut est plus apparent que réel, en remarquant :

1° Que les courbes des voies ne sont en réalité que des polygones dont les côtés font entre eux des angles extérieurs qui, par exemple pour le cercle de 1,000 mètres de rayon, s'élèvent à 20′ 36″.

Bien entendu qu'il est ainsi fait abstraction des procédés que l'on peut vouloir employer à la pose pour donner aux rails une courbure plus ou moins grossière, plus ou moins persistante et qui, en tout cas, s'ils donnaient de bons résultats, devraient à plus forte raison être employés pour le raccordement rationnel.

2° Que dans les conditions même les plus défavorables du raccordement rationnel, l'angle extérieur n'est augmenté que d'une quantité peu appréciable, et que d'ailleurs on peut réduire à peu près à volonté, à l'aide de légers *coups de pouce* sur les sommets qui précèdent le point de soudure, *coups de pouce* qui, dans l'exemple cité plus haut, ne vont pas à plus de 10 à 15 millimètres de jeu, et qui, par conséquent, rentrent dans les régularisations de pose que les chefs poseurs ont l'habitude de pratiquer.

3° Enfin, que l'exactitude absolue dans la construction des ordonnées fournies par

le calcul serait sans objet dans l'espèce, et cela par la raison que la grandeur de ces ordonnées varie considérablement avec celle de la vitesse de marche supposée, vitesse qui réellement n'est rien moins que constante.

D'ailleurs on sait qu'un maintien rigoureux des formes primitivement données aux voies n'est pas non plus dans la réalité ordinaire des faits.

M. Chavès termine en exprimant la pensée que les méthodes de raccordement rationnel qu'il vient d'indiquer peuvent donner des résultats utiles et suffisants pour la pratique, même en les dégageant de certaine rigueur d'exécution que la question ne comporte d'ailleurs pas.

Un membre ne croit pas à l'utilité du système proposé par M. Chavès : il ne veut pas examiner dans quelle mesure ce système peut présenter les inconvénients qui font en général rejeter, dans le tracé des chemins de fer, toute courbe qui ne serait pas un simple arc de cercle; mais il croit devoir faire observer que l'on obtient des voies satisfaisantes à l'aide d'un procédé plus praticable que celui de M. Chavès, notablement plus simple, et à la portée du plus médiocre ouvrier poseur : on sait que ce procédé consiste à incliner les rails extérieurs de l'alignement droit, à partir d'un point situé à quelques mètres du point de tangence, de manière à obtenir, *à avoir gagné*, au point de tangence, le surhaussement voulu. Par l'effet de cet artifice, les trains se trouvent un peu penchés aux abords de chaque courbe sur une portion d'alignement droit, sur laquelle, conséquemment, la pression du train n'est pas parfaitement normale à la voie; mais cette étendue de voie anormale est relativement très-courte, même pour les plus forts surhaussements; par suite, ordinairement elle ne fait *simultanément* dévier de la position verticale qu'une portion des véhicules qui composent un train; quoi qu'il en soit, le procédé dont il s'agit ne paraît pas offrir d'inconvénients sensibles dans la pratique.

D'ailleurs, tandis que le défaut de normalité dont il vient d'être question ne se présente que sur une très-petite partie des alignements droits, il est bon de rappeler que la même imperfection se produit sur toute l'étendue des courbes, inévitablement, chaque jour (mais à divers degrés), chaque fois que la vitesse d'un train n'est pas celle en fonction de laquelle a été calculé et établi le surhaussement ou dévers de la voie. (Naturellement il convient, pour éviter constamment la tendance au déversement extérieur, d'adopter comme base de calcul au moins la vitesse la plus grande qu'il y ait lieu de prévoir sur la courbe à construire; d'où il résulte ordinairement que la pression du train n'est pas bien normale à la voie courbe, la vitesse ordinaire étant moindre que celle dont il a fallu tenir compte.) Il est évident que cette observation sur le défaut de normalité dans la pression qui s'exerce sur les courbes s'applique à celles de M. Chavès aussi bien qu'aux courbes ordinaires; cette observation a même dans ce cas un peu plus d'importance, vu que le système de M. Chavès accroîtrait l'étendue des courbes.

M. Chavès répond que le procédé du plan incliné a été discuté dans sa note, et doit, *à priori*, présenter à un degré plus ou moins prononcé les inconvénients qu'il a signalés;

Que, quant au défaut de normalité qui, sans doute, subsiste inévitablement dans toute courbe par suite de ce que le train ne conserve pas constamment la vitesse qui a servi au calcul du surhaussement, ce défaut, relaté d'ailleurs aussi au mémoire, n'est pas à beaucoup près comparable à celui qui résulte d'un surhaussement intégral *racheté* sur un alignement droit;

Et qu'enfin, pour ce qui est de l'accroissement d'étendue des courbes, nécessité par le raccordement rationnel, on n'a qu'à jeter les yeux sur les épures jointes au mémoire pour s'assurer qu'il est tout à fait insignifiant, puisqu'il s'élève au maximum à une quinzaine de mètres.

Sur la demande de M. le Président, et par suite de l'absence de membres qui devaient faire des communications portées à l'ordre du jour, M. Tronquoy veut bien entretenir la Société d'une application de la photographie au lever des plans. Il décrit la *planchette photographique* inventée par M. Auguste Chevallier.

Cet appareil consiste principalement dans l'emploi de la chambre noire de Porta, c'est-à-dire dans la combinaison d'un prisme et d'une lentille telle, que les images des objets extérieurs *vus* par le système optique sont ramenées sur un plan horizontal.

Le prisme est un prisme rectangulaire droit isocèle, dont les deux faces à angle droit sont l'une verticale et l'autre horizontale, tandis que l'hypoténuse fait un angle de 45° avec l'horizon. Au-dessous de ce prisme, et enfermée avec lui dans un même tube qui laisse libre la face verticale, est une lentille agissant à la manière des objectifs employés dans les appareils photographiques ordinaires. Ce tube est supporté par un disque sur lequel il est fixé, et il peut recevoir un mouvement de rotation sur un axe qui correspond au centre du disque. Ce mouvement est à volonté discontinu ou continu; dans le premier cas, il est obtenu en faisant mouvoir le disque à la main; dans le second cas, il est obtenu au moyen d'un mouvement d'horlogerie.

Ce disque forme la partie antérieure d'une chambre noire photographique, dans laquelle le châssis portant la plaque sensible est horizontal, et occupe pendant tout le temps d'une opération une position invariable.

Les arêtes du prisme sont perpendiculaires au plan vertical (que nous appellerons *plan principal*), qui passe par l'axe de rotation et l'axe optique de la lentille, tous deux verticaux, de sorte que l'image d'une ligne située dans le plan principal vient se faire sur la plaque sensible suivant une ligne située à l'intersection de cette plaque et du plan principal.

On conçoit donc que si, au moyen d'une lunette dont l'axe optique corresponde au plan principal, on vient à viser divers signaux, les images de ces signaux sur la plaque sensible feront entre elles les angles azimutaux que font les signaux entre eux, et que, ces angles pouvant être mesurés sur la plaque sensible, l'appareil pourra remplacer le graphomètre ou le cercle répétiteur.

Toutefois, il serait à craindre en opérant ainsi, bien que les images soient à peu près limitées par l'ouverture du tube, que ces images ne se superposassent. En conséquence, la disposition suivante a été adoptée : des volets fixés au disque et dont on peut régler l'ouverture à volonté permettent de régler la largeur de l'image; de plus, un fil fin horizontal, dont la direction est déterminée par la position de l'axe optique et de l'axe de rotation, trace photographiquement sur la plaque sensible la position du plan principal; tandis qu'un second fil perpendiculaire au premier et passant par l'axe optique indique, photographiquement aussi, la position du plan horizontal qui passe à la rencontre de l'axe optique et de l'hypoténuse du prisme.

On voit donc qu'au moyen de cet appareil, ainsi organisé, on peut déterminer, photographiquement, les angles d'un certain nombre de signaux placés autour d'un point de station donné : c'est ce que l'inventeur appelle opérer par secteurs.

Mais, comme cela a été dit plus haut, l'appareil est susceptible de recevoir un mouvement continu.

Dans un tel mouvement les images se feraient, mais elles se superposeraient les unes aux autres, et finalement la plaque sensible contenant une infinité d'images ne pourrait être utilisée. Une disposition, empruntée à la chambre noire panoramique de Martens et de Garella, a permis de remédier à cet inconvénient : les volets sont rapprochés l'un de l'autre jusqu'à ce que leur écartement ne soit plus que d'une fraction de millimètre, un millimètre au plus. L'ouverture correspond au plan principal; le fil indiquant la position de ce plan est supprimé. Et ainsi, à chaque instant pendant le mouvement de rotation, la plaque sensible reçoit seulement l'impression des rayons émanant des objets situés dans le plan principal. On obtient donc une épreuve panoramique comprenant l'image de tout ce qui est visible pour l'appareil, autour de lui, et l'image donne les angles azimutaux de tous les objets *vus*. De plus, le fil horizontal qui n'a pas été supprimé donne le plan de niveau qui correspond à l'axe optique de l'appareil.

On comprend que, si on fait une seconde opération à une seconde station dont on connaisse la distance à la première, les deux épreuves placées sur une feuille de papier, à une distance proportionnelle à la distance mesurée, permettent de déterminer, comme avec la planchette, la position des signaux naturels et artificiels dont les images seront à la fois sur les deux épreuves, sans chance d'oubli ou d'erreur obligeant à retourner sur le terrain.

De là le nom de *planchette photographique* donné à l'appareil.

En terminant, M. Tronquoy fait observer que les épreuves obtenues diffèrent complétement de celles qui sont données par les appareils ordinaires : il y a une déformation; cette déformation résulte de la convergence vers le centre de toutes les lignes verticales, de sorte qu'un monument, une maison, par exemple, a son toit plus large que son soubassement.

En outre, les lignes horizontales se courbent, suivant des arcs d'ellipse. Il faut remarquer que cette déformation est d'autant moins sensible que les objets sont plus éloignés, et qu'on peut la réduire autant qu'on le veut en éloignant le centre de la lentille du centre de rotation, ce qui conduit à augmenter la surface de la plaque sensible, ou à prendre des objectifs donnant des images plus petites.

Cette déformation, quelle qu'elle soit, n'est pas un inconvénient, et des dessinateurs, entre les mains de qui on a mis des épreuves ainsi obtenues, ont su dessiner le plan du terrain sans aller sur les lieux.

Un des avantages de l'appareil est de mettre entre les mains de l'opérateur un cliché au moyen duquel on peut obtenir autant d'épreuves qu'on le désire, épreuves qui sont chacune une représentation exacte du terrain, et qui permettent à plusieurs dessinateurs de travailler en même temps à la mise au plan.

M. Tronquoy regrette que l'heure avancée ne lui permette pas de donner plus de détails sur l'appareil de M. Chevallier, qui comporte, outre les dispositions principales qui viennent d'être décrites, un certain nombre d'autres dispositions assurant autant que possible l'exactitude des opérations; mais il espère que M. le Président voudra bien l'autoriser à donner dans la prochaine séance quelques renseignements complémentaires et en même temps à présenter l'appareil à la Société.

M. de Mastaing craint que les mesures d'angles sur les épreuves ne soient moins exactes que celles qu'on obtient avec les instruments connus, le graphomètre, le cercle répétiteur, etc.

M. le Président demande si l'on obtient plus de rapidité qu'en opérant à la ma-

nière ordinaire, et, comme l'exactitude du lever peut dépendre de la rigidité de l'appareil, il voudrait savoir si la nouvelle méthode offre un avantage réel sur les autres procédés.

M. Tronquoy fait remarquer, en ce qui concerne l'exactitude des angles, que les épreuves donnent au moins les mêmes résultats que le rapporteur; que, de plus, l'on ne se borne jamais à deux stations, et qu'on en fait toujours un certain nombre d'où les mêmes signaux sont vus plusieurs fois, ce qui permet un nombre de vérifications qui augmente plus rapidement que le nombre des stations.

En ce qui concerne la rapidité, il ne saurait répondre, attendu que jusqu'à présent il n'y a eu que des essais faits dans de mauvaises conditions. D'abord, l'appareil est construit en bois, il est peu solide, il n'a pas la stabilité suffisante, ce qui enlève de la netteté aux épreuves; de plus, les opérations ont été faites pendant le mauvais temps, et on ne pouvait opérer d'une façon continue [1]. Mais on construit actuellement un nouvel appareil qui a peut-être les défauts contraires de l'autre: il est trop massif; mais on espère obtenir avec lui une fixité complète et avoir régulièrement de bonnes épreuves.

Séance du 1er Septembre 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président donne la parole à M. le secrétaire pour la lecture du procès-verbal de la dernière séance. La rédaction est adoptée.

Après le vote, et à l'occasion du procès-verbal, deux membres demandent à présenter de nouvelles observations au sujet de la communication de M. Chavès, sur le raccordement rationnel des voies courbes avec les voies droites.

M. le Président, craignant que la discussion ne comporte un certain développement, et vu la présence de plusieurs des membres inscrits pour prendre la parole, propose de maintenir l'ordre du jour et d'ajourner la discussion sur le mémoire de M. Chavès jusqu'à la séance du 15 septembre. Cette proposition est adoptée.

M. le Président annonce que M. Félix Moreaux, membre de la Société, ingénieur de la société en participation Parent, Schaken, Caillet, J.-F. Cail, vient d'être nommé chevalier de l'ordre des Saints-Maurice et Lazare à l'occasion des études et de l'exécution du pont de Plaisance sur le Pô.

M. le Président annonce ensuite la mort de M. Édouard Guérin, membre de la Société, inventeur du frein automoteur qui porte son nom. Il pense que la Société s'associe à la douleur de la famille de cet ingénieur distingué, dont les travaux sont marqués d'un caractère d'une très-grande originalité.

M. le Président communique une lettre de M. Loiseau en réponse à celle de M. Jullien, insérée dans le résumé de la dernière séance.

1. C'est-à-dire sans interruption.

« M. Jullien dit : *Il me semble que la réponse écrite de M. Loiseau diffère consi-*
« *dérablement de sa réponse verbale.* »

M. Loiseau répond qu'il est possible qu'il ait modifié la forme des réponses faites à M. Jullien dans la séance du 21 juillet. Si la forme de la réponse écrite diffère de la réponse verbale, il croit pouvoir affirmer que le fond de la pensée est resté le même.

La parole est ensuite donnée à M. Tronquoy pour compléter sa communication sur la *planchette photographique* de M. Auguste Chevallier.

M. Tronquoy présente à la Société deux modèles de l'appareil; l'un est l'appareil imaginé d'abord par M. Chevallier, l'autre est celui qui a été décrit dans la précédente séance.

M. Tronquoy fait voir comment, dans ce dernier, l'image reçue par le prisme et réfractée par lui est renvoyée sur une lentille qui est disposée comme les objectifs des chambres noires ordinaires, c'est-à-dire qu'elle peut être rapprochée ou éloignée de la surface sensible, de manière à permettre la *mise au point*. On vérifie cette mise au point par une ouverture faite dans la paroi du tube et pouvant se fermer au moyen d'un petit volet.

Le châssis qui contient la plaque sensible est en tout semblable aux châssis des chambres noires ordinaires.

C'est le plateau mobile sur lequel est fixé le système optique qui porte les écrans limitant la largeur des images et les fils donnant la direction du plan vertical passant par l'axe de rotation et l'axe optique, et du plan horizontal passant à l'intersection de l'axe optique et de l'hypoténuse du prisme.

Deux vis de rappel, disposées au-dessus du disque, servent à mettre les écrans dans la position voulue.

Afin de donner plus de netteté à l'image des fils, le châssis, après avoir été ouvert, doit être rapproché des écrans au moyen de petits taquets qui en déterminent la position exacte; c'est dans cette position que la mise au point doit être faite.

Le disque est mis en mouvement par un pignon (vis sans fin), s'engrenant avec des dents placées à sa circonférence et commandé par un mouvement d'horlogerie. Un taquet avec une vis sert à rapprocher ou à éloigner le pignon du disque pour engrener ou désengrener. Lorsque le pignon n'est pas engrené, on peut faire tourner le disque à la main, ou bien au moyen d'un autre pignon qu'on engrène également par un taquet et qu'on fait manœuvrer au moyen d'une petite manivelle.

Cette disposition n'est utilisée que lorsqu'il s'agit de faire mouvoir le disque de quantités infiniment petites.

L'appareil est en outre muni d'une boussole, d'un niveau d'eau, etc.; il est monté, comme les appareils de nivellement, sur un trépied à vis calantes.

La première disposition, imaginée par M. Chevallier, diffère de celle qui vient d'être décrite.

La chambre noire est une chambre noire ordinaire, et l'image est reçue sur une surface verticale.

Seulement, cette chambre noire est mobile autour d'un axe vertical compris dans le plan vertical passant par l'axe optique de la lentille.

Au moyen d'engrenages convenablement combinés et d'une disposition particulière du châssis, la plaque sensible, qui reçoit l'image à peu près au quart de sa hauteur, se meut d'un angle égal à l'angle dont se meut la chambre noire, de sorte que les

images obtenues avec cet appareil sont identiques à celles obtenues avec l'autre appareil. La partie fixe du châssis porte d'ailleurs des écrans mobiles pour limiter l'image, et deux fils indiquant, l'un le plan vertical passant par l'axe optique, et l'autre le plan horizontal passant par ce même axe.

Un mouvement d'horlogerie, qu'on embraye à l'aide d'un pignon, permet de donner un mouvement de rotation continu à l'appareil, qui peut aussi être mû à la main pour opérer par secteur.

Enfin cet appareil porte un niveau, une boussole, une lunette.

Les plaques qu'on emploie ont 12 à 14 centimètres de diamètre, et, par conséquent, les images 6 à 7 centimètres de hauteur.

Dans l'autre appareil, les images sont deux fois plus grandes.

M. Tronquoy appelle l'attention sur un régulateur de la vitesse du mouvement qui doit être proportionnelle *à la sensibilité* de la surface impressionnée et à l'intensité lumineuse; c'est un volant à ailette qui se meut dans une boîte cylindrique dont la paroi est découpée à jour, de façon que les vides sont égaux aux pleins; une enveloppe percée à jour de la même façon permet de réduire l'accès de l'air dans la boîte, et même de l'intercepter complétement, ce qui augmente la résistance sur l'ailette et ralentit le mouvement.

M. Tronquoy fait observer que l'appareil est susceptible de donner le nivellement du terrain en même temps qu'on lève le plan, puisqu'il indique la position des plans de niveau correspondant à la position de l'axe optique, et qu'il suffit de déterminer l'altitude de l'instrument à chaque station pour avoir l'altitude de tous les points dont l'image se trouve sur le trait noir donné par le fil correspondant à cet axe.

En terminant, M. Tronquoy rappelle les conditions que doivent remplir l'un et l'autre appareil pour donner des résultats utilisables :

1° L'axe de rotation doit être vertical;

2° La surface sensible doit être perpendiculaire au plan qui passe par l'axe optique et l'axe de rotation (*plan principal*);

3° L'axe optique doit être horizontal dans le deuxième appareil décrit.

Il doit être vertical dans l'autre, en même temps que les arêtes du prisme sont perpendiculaires au plan principal.

Ces trois conditions sont absolues dans toutes les positions de l'appareil à une station.

M. Tronquoy fait circuler des épreuves obtenues avec les deux appareils.

M. Loiseau fait remarquer que dans la précédente séance il a été dit que sur les clichés obtenus on pouvait tirer plusieurs épreuves, permettant à plusieurs dessinateurs de travailler à la fois; il craint, en voyant les épreuves soumises à la Société et qui sont tirées sur papier, que dans les diverses préparations et les lavages que doivent subir ces épreuves il n'y ait des déformations qui nuisent à l'exactitude du plan.

M. Tronquoy répond qu'à la vérité il y a des déformations, mais que dans la pratique ces déformations n'ont pas une grande influence, puisque, avec des épreuves tirées sur papier, on a pu reconnaître, en faisant des mises au plan, des erreurs de mesurage de $0^m,70$ et même de $0^m,20$ sur des longueurs de 300 mètres environ. Néanmoins l'objection subsiste en ce qui concerne de telles épreuves; mais rien n'empêche de tirer des épreuves sur verre, la couche sensible qui est fixée sur ce support n'est soumise ni au retrait ni à l'allongement, non plus que des épreuves tirées sur plaque métallique par les procédés de la daguerréotypie.

Un inconvénient plus grave est celui qui résulte de l'emploi d'épreuves qui, obtenues par application, donnent des images symétriques de celles qu'on obtient directement avec l'appareil, de sorte que les plans construits avec ces épreuves donneraient aux objets des positions symétriques de celles qu'ils occupent réellement, plaçant à gauche ce qui est à droite, et réciproquement.

On est obligé alors de donner de la transparence aux épreuves pour voir les images à travers le papier; mais alors elles perdent de leur netteté.

Pour remédier à cet inconvénient, dans un autre appareil actuellement en construction, on a placé le système optique au-dessous de la chambre noire, qui est horizontale, comme dans l'appareil décrit dans la séance du 18 août, et la surface sensible, au lieu d'être sur le dessus de la plaque de verre, est au-dessous, tournée du côté du système optique; de sorte que, dans le tirage des épreuves par application, les images des objets conservent la position que ces objets ont dans la nature et ont toute la netteté que peut donner un appareil photographique.

Cet appareil n'a encore été essayé qu'imparfaitement; mais il promet de bons résultats, et il y a lieu d'espérer qu'avec lui on gagnera du temps sur les opérations ordinaires, surtout alors qu'il s'agira de faire simultanément un lever de plan et un nivellement.

M. DE MAZADE donne ensuite communication d'une note sur l'Espagne industrielle.

Encore aujourd'hui, et malgré nos relations, il n'est guère de pays plus difficile à connaître matériellement et moralement que l'Espagne. Veut-on avoir des documents, des données particulières et spéciales, on est presque toujours assuré de recevoir la même réponse : *tout va bien*, et c'est la seule. *Tout va bien*, sans doute; mais encore, lorsqu'il s'agit de faits précis comme dans les affaires financières et industrielles, aimerait-on à savoir ce que c'est que des affaires qui vont bien. Jusqu'ici, malheureusement, ce bien ne se révèle guère que par des déceptions. Ces déceptions, le public français les a rencontrées partout : dans les opérations financières, les spéculations de chemins de fer et dans les tentatives d'exploitation de mines. Cela vient de ce que les points de départ pour les études manquent. Cette opinion était émise l'année dernière par un ingénieur espagnol, qui se plaignait vivement d'une telle situation.

Il existe cependant par-delà les Pyrénées une collection de laborieux savants dans le corps des ingénieurs des mines, dont les études n'ont pas toujours eu le succès qu'elles méritaient. Il n'est pas étonnant que nous n'ayons pas remarqué ces travaux, puisque l'Espagne elle-même paraît y attacher peu d'importance. M. de Mazade ne s'explique guère cette défaveur de la part d'un public qui a cependant conscience de la valeur de ces travailleurs modestes et pleins de mérite.

En donnant à la société une étude sur la production houillère de l'Espagne, M. de Mazade n'a pas eu l'intention de prendre chacun des bassins péninsulaires dans son particulier et d'en étudier les procédés d'extraction et les produits, il a voulu, en prenant pour guide une brochure très-intéressante de M. Lucas Aldana, l'un de ces ingénieurs auxquels il faisait allusion, intitulée *la Industria hullera en España*, en déduire quelques considérations générales appuyées sur des données statistiques. Ces déductions pourront d'ailleurs être complétées par ceux des membres de la société plus spécialement occupés de ces travaux.

Dans cette étude historique, M. de Mazade démontre comment, sous Charles III,

avait commencé l'exploitation des houilles en Espagne et comment il se faisait que les bassins, presque tous reconnus vers la fin du dix-huitième siècle, étaient restés presque improductifs, malgré les encouragements de l'État. Sans doute, les événements qui se sont déroulés dans la Péninsule ont été la cause de cette indifférence.

Quoi qu'il en soit, le mouvement est aujourd'hui donné, l'importance du combustible minéral est comprise de tous; aussi voit-on que déjà il existe sur une superficie de 130,000 hectares de terrain houiller 1,000 concessions comprenant 30,500 hectares. Ces chiffres rendent manifeste l'un des vices de cette industrie, car ils montrent que chaque concession en moyenne se trouve être de 30h,50.

Une législation par trop instable a nui beaucoup aux développements d'une exploitation qui eût pu devenir florissante; car, après tout, les qualités obtenues étaient parfaitement convenables. Elle a morcelé la propriété minière à l'infini et l'a presque frappée de stérilité pour éviter le monopole. Il est vrai que les illusions ont aidé à cette paralysation; on espérait obtenir des prix d'extraction de beaucoup inférieurs à ce qu'ils ont été, et puis les terrains carbonifères n'étaient pas aussi abondants qu'on l'avait cru. Aujourd'hui cette exploitation produit 250,000t et emploie près de 7,000 ouvriers. Le prix moyen sur le carreau de la mine est de 14 fr.. M. de Mazade dit le prix moyen, car il varie dans des limites très-larges. Le prix marchand des houilles que les Asturies livrent au commerce est de 11 fr. sur le carreau de la mine et s'élève presque à 60 fr. dans les mines de Burgos et de Soria.

Il n'y a pas de doute que quelques dispositions législatives seraient d'un grand secours dans la situation présente. Si, par exemple, le morcellement des concessions était évité, les capitaux qui se consacreraient à ces travaux deviendraient plus abondants. Ils ont fait défaut jusqu'ici, puisque en 1862 il n'y avait guère été dépensé au delà de 6,000,000 de francs. Or, l'installation d'une bonne exploitation est indispensable dans les conditions défavorables où se trouvent les bassins espagnols, si l'on veut éviter les désastres qui ne manqueraient pas de se produire lorsque les affleurements seraient épuisés.

Les voies de communication ont fait défaut jusqu'à aujourd'hui; mais les tarifs élevés des chemins de fer, qui varient entre 0f,08 et 0f,13, sont un obstacle sérieux sur lequel le gouvernement doit ouvrir les yeux, et il ne peut guère remédier qu'en baissant le droit de douane, s'élevant à 12 fr. la tonne. Il faudra bien alors que les lignes ferrées baissent leurs tarifs pour que la marchandise se transporte.

Il faut, pour que la houille s'exploite, qu'elle soit à un prix rémunérateur pour celui qui la vend et celui qui l'achète. Jusqu'ici, le prix a été tel que les charbons anglais sont, malgré la protection, les seuls possesseurs du marché.

A la simple inspection du tableau des produits métallurgiques de l'Espagne, on s'apercevra que le jour où la houille atteindra des prix moins élevés que ceux dont elle jouit aujourd'hui, car, aujourd'hui, ils sont généralement compris entre 40 et 110 fr. dans les localités de consommation, comme Barcelone, Malaga et Madrid, le traitement des minerais offrira un vaste débouché; la consommation, qui n'est aujourd'hui que de 1,000,000 de tonnes, s'accroîtra, et les propriétaires de charbonnages, par le fait qu'ils auront à satisfaire une plus grande consommation, pourront livrer à des prix raisonnables des produits qui, par leur friabilité, ont aujourd'hui des difficultés à trouver des preneurs.

M. de Mazade a tâché de réunir dans son travail le plus de données statistiques qu'il lui a été possible, et c'est à la vérité plutôt une collection de données statistiques qu'une étude industrielle. L'étude industrielle peut en découler aujourd'hui, et,

dans tous les cas, en publiant cette étude, il est parvenu à donner quelques chiffres nouveaux concernant l'industrie minière en Espagne.

M. MALDANT donne ensuite communication d'un rapport sur les appareils employés au soulèvement des fardeaux, au chargement et au déchargement des marchandises [1].

M. LE PRÉSIDENT, en remerciant M. Maldant des détails dans lesquels il est entré sur des observations qui lui sont personnelles, ne saurait trop l'engager à poursuivre son travail et à comparer lui-même les appareils en usage aujourd'hui comme grues et systèmes hydrauliques, si personne ne répondait à l'appel fait à la Société.

MM. Lejeune, Paget, Prudon et de la Portilla ont été reçus membres de la Société.

Séance du 15 Septembre 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Tronquoy pour la lecture du procès-verbal de la dernière séance; la rédaction mise aux voix est adoptée.

M. LE PRÉSIDENT lit une lettre dans laquelle M. Rouyer demande que la discussion sur la machine électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre soit continuée; d'autre part, M. Bellet a exprimé le désir de faire lui-même une communication au sujet de la machine en question; en conséquence, M. le président propose d'inscrire à l'ordre du jour de la prochaine séance et la communication de M. Bellet, et la suite de la discussion réclamée par M. Rouyer.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. Desgrange, chef de l'exploitation du chemin de fer du sud de l'Autriche, vient d'être nommé commandeur de l'ordre civil de Saint-Grégoire-le-Grand, et que M. Simonin vient d'être nommé chevalier de l'ordre des Saints-Maurice et Lazare.

M. LE PRÉSIDENT fait part à la Société du décès de M. Bournique, l'un de ses membres, directeur d'un établissement important pour la construction des wagons. M. Bournique était estimé tant à cause de la loyauté de son caractère que de sa belle intelligence. La Société entière s'associera à la douleur et aux regrets de la famille et des nombreux amis de M. Bournique.

M. FOUCOU a la parole pour la lecture d'une communication intitulée : *Sur le gisement de pétrole des Carpathes.* (Voir le mémoire, page 347.)

1. Voir ce rapport, page 309.

Dans ce travail, l'auteur a surtout en vue de faire connaître divers rapprochements qui lui semblent de nature à guider les explorateurs d'huiles minérales, rapprochements qu'il croit pouvoir déduire d'un certain nombre de faits d'observations recueillis par lui pendant un récent voyage en Galicie.

Le pays qu'a visité M. Foucou est cette partie de l'empire d'Autriche qui est située sur le versant nord de la chaîne occidentale des Carpathes, et s'étend de la frontière hongroise jusqu'au chemin de fer de Cracovie à Lemberg. La zone explorée va à peu près du 49e au 50e degré de latitude nord, et du 18e au 20e degré de longitude est. Cette région est très-riche en pétrole, comme la Société peut en juger par la carte mise sous ses yeux, carte sur laquelle on a pointé les gîtes les plus importants, ceux qui donnent lieu dans le pays à une exploitation régulière. En outre de ces gîtes, il y en a un grand nombre d'autres, si l'on peut appeler de ce nom une multitude d'orifices creusés çà et là par les paysans, et qui fournissent, par le suintement de l'huile goutte à goutte, des quantités restreintes s'élevant à peine à quelques litres par jour.

C'est surtout dans la Galicie orientale que florissent ces exploitations morcelées. A l'est de la région visitée par M. Foucou, on voit se détacher des Carpathes une ramification qui se dirige vers Lemberg. Cette ramification est la ligne de partage des eaux de la Baltique et de la mer Noire; à la gauche, lorsqu'on regarde vers le nord, s'étend la Galicie occidentale; à la droite, la Galicie orientale. Dans cette dernière contrée, le sol peut être assimilé à une éponge; il est littéralement imprégné de bitume, le plus souvent à l'état liquide. Il y a là près de 4,000 puits, dont un petit nombre seulement sont exploités avec intelligence. L'apathie des Galiciens, le manque de capitaux et d'éléments industriels dans le pays expliquent ce fâcheux état de choses.

Mais la région de pétrole n'est pas limitée, du côté de l'est, à la Galicie orientale. Elle s'étend encore en Bukovine et se prolonge, parallèlement à la chaîne orientale des Carpathes, jusque dans le bassin du Danube inférieur. Les gîtes de pétrole déjà découverts en Moldavie et en Valachie ne sont donc que la continuation des gîtes de la Galicie et de la Bukovine. Les trois groupes donnent ensemble une direction qui est exactement parallèle à la crête des Carpathes. De plus, la composition géologique des terrains, dans les trois cas, est la même. Pour ces raisons, M. Foucou pense que l'on peut ranger dans un seul et même système tous les réservoirs de pétrole qui s'étendent depuis le sud de la Silésie jusque vers la mer Noire, et qu'il convient de donner à cet ensemble le nom du système de montagnes auquel il paraît intimement lié. De là cette dénomination générale : *Gisement de pétrole des Carpathes.*

Ce gisement, par son orientation bien accusée du nord-ouest au sud-est, semble devoir donner une grande force à l'opinion qui rattache les épanchements bitumineux aux dislocations de l'écorce terrestre. Cette direction, en effet, avait été signalée longtemps avant la découverte des gîtes de pétrole en Galicie. On savait déjà que l'Europe est traversée en écharpe par une ligne de fracture allant des bouches de l'Oder aux bouches du Danube. Or cette ligne rallie sur son passage la plupart des gîtes de pétrole des Carpathes.

M. Foucou insiste sur cette coïncidence, qui vient confirmer de tous points les prévisions émises en 1863, devant l'Académie des sciences, par M. de Chancourtois dans ses divers mémoires sur *l'application du réseau pentagonal à la coordination des sources de pétrole et des dépôts bitumineux.* Il résulterait de ces sortes de rapprochements, si on les acceptait pour guides, des facilités inattendues pour les explo-

rateurs. La concordance des cercles d'émanations bitumineuses avec les cours des grands fleuves, près de leurs embouchures, ne paraît pas devoir être révoquée en doute, ce qui donnerait aux études de géographie générale un caractère pratique immédiat.

L'auteur signale dans la distribution des gîtes de Galicie une direction est-ouest bien accentuée, surtout dans la Galicie occidentale. Peut-être arrivera-t-on à rattacher cette direction secondaire à un faisceau très-important aussi, qui part des gîtes fameux de Bakou, sur les bords de la mer Caspienne, rejoint les gîtes récemment découverts dans le Hanovre, non loin des schistes bitumineux de l'embouchure de l'Elbe, et traverse la mer du Nord pour venir jalonner les bitumes d'Écosse. Mais il est moins douteux que la direction est-ouest des gîtes galiciens est due à l'existence de failles souterraines parallèles entre elles, dont M. Foucou a pu relever un certain nombre, soit par l'orientation des cascades du pays, soit en profilant les orifices des puits de pétrole creusés dans un même lit bitumineux.

Les couches dans lesquelles on trouve le pétrole en Galicie sont des schistes ou des argiles plus ou moins imprégnés de matières hydrocarburées. Ces terrains sont intercalés dans le grès à nummulites et appartiennent, par conséquent, à la formation tertiaire. Le pétrole caractérise très-nettement l'éocène et il cesse de se montrer lorsqu'on s'avance dans le nord et que les couches miocènes apparaissent. Dans ces dernières couches, c'est le sel qui remplace le bitume. De telle sorte que la région du pétrole est circonscrite avec une grande précision par la région du sel, qui commence à Wieliczka, près de Cracovie, et se continue, à travers les deux Galicies et la Bukovine, jusqu'en Moldo-Valachie.

En terminant sa communication, M. Foucou signale la présence des arbres résineux dans les régions à pétrole comme un indice très-important pour les explorateurs. Ainsi le versant hongrois de la chaîne occidentale des Carpathes est très-pauvre en sapins : en même temps l'on n'y a découvert le pétrole qu'à l'état d'exception. Tel massif montagneux, par exemple, sera recouvert de sapins sur le versant où viennent affleurer les schistes bitumineux, tandis qu'il ne présentera guère que des hêtres sur le versant où le grès seul apparaît sous la terre végétale.

Dans un second mémoire, M. Foucou fera connaître quelques particularités sur l'exploitation du pétrole en Galicie; et sur le régime physique et industriel de la contrée.

M. Jules Gaudry demande à M. Foucou si les gîtes de pétrole signalés en Alsace lui paraissent rentrer dans le système qu'il vient de décrire.

M. Foucou répond que ces gîtes ne semblent pas devoir être rattachés à ceux des Carpathes, mais qu'ils se relient plutôt à un grand cercle très-important, signalé par M. de Chancourtois, grand cercle qui part des bouches de l'Amazone en Amérique, passe par les gîtes bitumineux d'Avallon, traverse l'Alsace, jalonne les épanchements de la vallée du haut Danube et vient rejoindre la chaîne de l'Oural.

M. le Président fait observer que les géologues sont d'accord pour rapporter au système des gîtes bitumineux d'Avallon les schistes exploités depuis près de trente ans dans les environs d'Autun.

M. Gaudry donne communication de sa note sur le Puddleur mécanique de M. Lemut.

Le puddlage mécanique paraît être en ce moment à l'ordre du jour. Le système de M. Lemut soumis à la Société des Ingénieurs compte quatre années de pratique cou-

rante aux forges du Clos-Mortier, près de Saint-Dizier. Tous les fours à puddler de cette usine en sont pourvus à l'exclusion de tout autre mode de travail.

On voit par le modèle mis sous nos yeux que le système de M. Lemut consiste en un mécanisme qui promène méthodiquement sur la sole du four le crochet accoutumé de puddleur, qu'on change aussi souvent qu'il est besoin, en un temps très-court; l'ouvrier se borne à surveiller sans fatiguer jusqu'au moment où il procède manuellement à la formation des loupes, après avoir écarté le mécanisme. Celui-ci, quand il travaille, est placé soit au-dessus du four comme dans le présent modèle, soit au-dessous ou par côté dans une fosse.

On voit qu'il se compose d'une bielle pendante qui peut osciller en tous sens, en actionnant le crochet, étant mue elle-même par un jeu de tringles, arbres et manivelles avec supports d'assise. Un moteur commun à tous les fours donne, à l'ordinaire, le mouvement par arbre de transmission, poulie et courroie. A chaque four la courroie est pourvue d'un tendeur qu'on abaisse ou relève pour mettre en jeu l'appareil ou stopper.

Tout cet ensemble est grossier et rustique, ne redoutant rien de la poussière et des secousses, comme il convient dans une forge. On transmet ainsi au crochet de puddlage à la fois un mouvement rectiligne d'arrière en avant dans le travers du four, et un autre mouvement beaucoup plus lent de transport horizontal de droite à gauche *et vice versa* dans la longueur de la sole. De cette double action il résulte une promenade du crochet sur toute la sole et par suite un brassage méthodique très-complet du métal, avec une énergie et une régularité dont peu d'ouvriers sont capables. Bien que le puddleur mécanique puisse s'adapter à tous les fours, sans transformation, M. Lemut recommande de l'appliquer surtout aux grands fours à double porte opposées, où deux crochets croisent leur jeu et où l'on a avantage à traiter de grandes masses de métal. Quant aux fours simples, le puddlage mécanique a peu d'intérêt lorsqu'on y traite en petite masse les fontes blanches d'un affinage facile. Si l'on travaille au contraire des fontes grises dont le brassage est long et rebelle, on aura généralement tout à gagner en aidant l'ouvrier puddleur par des engins mécaniques qui le soulagent de la moitié de sa peine.

C'est ainsi qu'au Clos-Mortier M. Lemut a été amené à son système. Malgré l'esprit de routine, les ouvriers l'ont accepté de suite avec empressement.

Suivent quelques données sur les résultats :

1° Le brassage mécanique se faisant sous l'inspection du chef d'équipe aussi longtemps qu'il est nécessaire, avec une énergie et une méthode régulière dont les ouvriers sont rarement capables, on a pu améliorer dans la plupart des cas la qualité du fer. On a même pu traiter des minerais regardés jusqu'ici comme inférieurs et en obtenir des fers très-avantageusement classés pour la tréfilerie, le feuillard et la pointerie. C'est là un fait constaté par trois années de travail régulier.

2° La durée du brassage a été sensiblement réduite. Au Clos-Mortier, où l'on traite en four double les fontes noires au bois qui sont spéciales à cet établissement et sont très-difficiles à affiner, on obtient 3,000 kil. de fer en douze heures à l'aide de trois hommes.

3° Le personnel des fours a pu être réduit; le recrutement des puddleurs est devenu plus facile; on a pu augmenter en même temps le salaire de 50 centimes par jour; et, tous comptes faits, il reste une économie de 2 fr. par tonne de fer sur la main-d'œuvre.

4° Une autre économie qu'on ne prévoyait pas est celle du combustible; elle s'explique sans doute par l'accélération du puddlage, et peut-être aussi par les soins que peut donner à la conduite du feu l'ouvrier délivré de la fatigue du brassage. Quoi qu'il en soit, elle résulte de constatations certaines.

Au Clos-Mortier, l'économie de la houille est en moyenne de 200 kil. par tonne de fer produit. A Montataire, où le puddleur Lemut a été monté sur deux fours doubles, il m'a été permis de recueillir les résultats suivants : on a relevé les consommations de houille relativement à la fonte traitée, soit avec le nouvel appareil, soit avant son installation, soit après sa mise en non-activité; on trouve en résumé :

Avant l'installation pour	1,076,5 kil.	de fonte	849 kil. de houille.
Avec l'appareil.....	1,127,8 kil.	—	665 kil. —
Sans l'appareil.....	1,103,2 kil.	—	744 kil. —

Rapporté exactement à 1,000 kil. de fonte, on a pour consommation de houille, en nombre rond :

Avant l'appareil.....	760 kil. de houille.
Avec l'appareil.....	590 kil. —
Sans l'appareil.....	670 kil. —

Soit un avantage en faveur de l'appareil Lemut de 80 kil. dans un cas et de 170 kil. dans l'autre.

M. Fourneyron craint que, d'après le mouvement donné aux ringards, ceux-ci n'agissent pas sur la masse de la même manière que lorsqu'ils sont maniés par les ouvriers qui, tout en agitant la masse, la retournent et en exposent toutes les parties à l'action de l'air. Il craint aussi que les ouvriers, n'ayant plus qu'à surveiller, négligent la besogne, et laissent échapper le moment où la loupe doit être formée. Enfin, M. Fourneyron désirerait savoir quelle est la force nécessaire pour faire marcher la machine.

M. le Président demande si l'on a fait des expériences directes propres à déterminer les déchets auxquels donne lieu le travail au moyen des puddleurs mécaniques, pour les comparer aux déchets observés dans les méthodes ordinaires. Il pense qu'avec lui tout le monde reconnaît dans l'opération du puddlage la nécessité d'un examen que l'ouvrier doit faire à chaque instant pour s'assurer de l'état d'avancement du puddlage; il est un point qu'il faut savoir saisir pour arrêter l'opération; l'inexpérience du puddleur se traduit par des déchets plus ou moins considérables; c'est la quantité de fin métal produit avec l'appareil Lemut par kilogramme de fer à puddler qu'il voudrait reconnaître. Il ne pense pas qu'on puisse considérer le puddleur mécanique autrement que comme un outil propre à préparer ou abréger le travail du puddleur.

M. Gaudry répond que le crochet est très-fort et assez long pour traverser toute la masse, soumise par ce fait à un violent remous. Toutes ses parties sont amenées ainsi au contact de l'air; d'ailleurs, l'appareil n'a pour but jusqu'ici que de faire l'ébauche du travail; les loupes se font à bras d'hommes. C'est pour cela qu'il n'est pas employé avantageusement avec des fours de petites dimensions, ou lorsque les fontes sont d'un très-facile affinage. Néanmoins il offre dans tous les cas l'avantage de ne pas fatiguer les hommes dès le commencement du travail, et de leur laisser toutes leurs forces pour la partie délicate de l'opération, qui ne commence vraiment

qu'à l'instant où le fer prend nature, et où l'on va former les loupes. Jusque-là le travail est à peu près tout brutal.

En ce qui concerne les malfaçons, elles sont punies par des amendes, etc., comme à l'ordinaire, et il n'y a pas de raison pour que l'ouvrier néglige son ouvrage. L'absence de fatigue à l'instant où son attention importe est même une garantie de soins et de succès.

Il suffit de peu de force pour faire marcher l'appareil. Au Clos-Mortier, il suffit largement d'un moteur de quatorze chevaux pour vingt fours, y compris les transmissions.

En ce qui concerne les déchets, lorsque l'appareil marche convenablement, ils semblent n'être pas plus considérables que lorsque le puddlage est fait à la main. Mais on a voulu quelquefois appliquer à chaque appareil une machine séparée s'emportant de temps à autre, ce qui causait des projections de matière hors du four; mais ce ne sont pas là à proprement parler des déchets.

Enfin, M. Gaudry fait remarquer que le puddlage mécanique du Clos-Mortier n'est pas à l'état d'essai, mais qu'il est en pratique courante et générale depuis plus de trois ans; que, tout en permettant d'apporter plus d'économie dans les travaux, il a apporté un bien-être sensible pour les ouvriers.

NOTE

SUR LES

APPAREILS EMPLOYÉS AU SOULÈVEMENT DES FARDEAUX

AU

CHARGEMENT ET AU DÉCHARGEMENT DES MARCHANDISES.

PAR M. E. MALDANT.

Le soulèvement des fardeaux, le chargement et le déchargement des marchandises, constituent une des branches les plus étendues de l'application des forces motrices diverses dont dispose l'industrie.

L'étude des meilleures applications des forces à faire, selon les différents cas, a été jusqu'ici l'occupation d'un nombre assez restreint d'ingénieurs. Or je crois qu'il est regrettable, au point de vue des intérêts généraux du commerce et de l'industrie, que la connaissance *exacte* des meilleurs engins à employer, selon certains cas déterminés, ne soit pas fixée d'une manière assez précise pour retirer, dans bien des circonstances, des incertitudes ou des hésitations préjudiciables.

Je citerai immédiatement un exemple pour bien faire saisir ma pensée, et pour expliquer pourquoi il m'a paru utile d'appeler l'attention de la Société sur cette question, dont l'examen pourrait servir avec avantage à bien des intéressés.

En juillet 1863, la Chambre de commerce de Bordeaux a mis au concours le privilége du chargement et du déchargement des navires au moyen de treize appareils à fournir par les soumissionnaires. La Chambre se réservait le droit de choisir, parmi tous les projets qui seraient présentés, celui qui lui paraîtrait réunir les meilleures conditions.

Une grande publicité a été donnée à ce concours, et quatorze ou quinze projets, basés sur l'application de l'eau et de la vapeur, sont arrivés de France et d'Angleterre.

Mais le résultat de cette *abondance de moyens* paraît avoir été, pour la Chambre de commerce de Bordeaux, d'abord une déception réelle, et

ensuite la conviction qu'elle avait déjà dans ses mains le *meilleur mode* de chargement et de déchargement des navires; en effet, d'après l'avis des ingénieurs qu'elle a consultés et après un examen qui a duré près d'un an, la Chambre de commerce a écarté tous les projets qui lui ont été présentés, et elle se décide aujourd'hui à généraliser simplement l'application de la vapeur à toutes ses grues, d'après l'expérience qu'elle en a faite sur quatre d'entre elles *depuis sept ans*.

C'est cette expérience, qui me paraît représenter en ce moment dans un port ouvert et étendu le meilleur mode de chargement et déchargement des navires, et en même temps la meilleure méthode de manutention des marchandises diverses dans les chemins de fer et un grand nombre d'autres industries, que je vais examiner rapidement.

En 1854, sur la demande de M. Faure, entrepreneur de déchargement de navires, je faisais, pour la première fois, l'étude d'une *grue à vapeur*, que cet entrepreneur désirait appliquer au service du port de Bordeaux.

Quand l'étude et le prix furent établis, M. Faure fit des démarches auprès de la Chambre de commerce de Bordeaux pour obtenir l'autorisation de placer sur les quais la grue à vapeur qu'il se proposait de faire construire.

Si la question des grues à vapeur a fait des progrès depuis cette époque, on pourra juger pourtant, par la lettre ci-dessous, que l'opinion d'ingénieurs très-distingués, consultés par la Chambre, n'était pas faite alors pour encourager ceux qui étaient disposés à s'occuper de cette affaire. En effet, la Chambre de commerce de Bordeaux, après avoir soumis la demande de M. Faure et les projets que je lui avais remis aux ingénieurs en chef et ordinaire du département, repoussait catégoriquement la proposition faite, et motivait sa résolution sur l'opinion défavorable des ingénieurs, qui était exprimée en ces termes :

« En raison de la *continuité* des dépenses qu'exigent la mise en œuvre « et l'entretien des appareils à vapeur, ces appareils ne sont *utilement* « *applicables* qu'à des opérations susceptibles elles-mêmes de *continuité*. « La concentration de forces qu'ils procurent devient *onéreuse* et *sans* « *avantages* lorsque les résistances à vaincre échappent, par leur nature « ou leur disposition, à l'action régulière et incessante de ces forces. Or « le chargement et le déchargement d'un navire comportent un travail « intérieur de désarrimage et d'arrimage, auquel est nécessairement su- « bordonné le travail extérieur de la grue, qui prend ou pose les mar- « chandises sur le navire.

« La grue dont il est question serait mue par une machine à vapeur « de la force de cinq chevaux. Considérons les circonstances où cette « machine aurait à fournir son maximum d'effet : soit la grue prenant « directement les marchandises à fond de cale, la mer étant basse. Te-

« nant compte de la calaison des plus grands navires, de l'élévation du « mur de quai au-dessus de la basse mer et du surcroît d'élévation où il « faut porter la marchandise pour la déposer sur le quai, la hauteur « totale que la grue devra lui faire franchir sera au plus de 14 mètres « (j'exagère à dessein).

« Or une machine de cinq chevaux, *pour être convenablement utilisée*, « doit élever en une heure, à une hauteur de 14 mètres, 96,428 kilo- « grammes.

« Dans les circonstances moyennes du déchargement où la machine « n'aurait qu'à élever la marchandise à une hauteur de 7 mètres envi- « ron, elle devrait, pour être convenablement utilisée, décharger *le* « *double* du poids qui précède, soit 190 tonnes pesant en une heure.

« Si elle ne fait pas ce travail, il y a *dépense inutile* de combustible, « salaire de mécanicien, etc.

« Or peut-on admettre que jamais le déchargement d'un navire per- « mette d'utiliser le dixième de la journée de travail d'une telle ma- « chine? »

Voilà le rapport aussi net que peu encourageant qui fit repousser à Bordeaux la première tentative d'application des *grues à vapeur*.

Toutefois, comme je ne partageais pas l'opinion des ingénieurs qui avaient été consultés par la Chambre de commerce, j'engageai M. Faure à faire des démarches dans un autre port pour obtenir l'autorisation qui lui était refusée à Bordeaux.

Tout cela prit plusieurs années; mais enfin l'autorisation fut obtenue à *Rouen*, où la grue fut installée et fonctionna dans les conditions les plus avantageuses.

Après la constatation régulière et officielle du bon fonctionnement et des avantages obtenus par la grue à vapeur de Rouen, je renouvelai à la Chambre de commerce de Bordeaux l'offre qui lui avait été faite près de trois ans auparavant. Mais la Chambre était encore sous l'impression de la déclaration faite par les ingénieurs, et elle éluda de nouveau ma proposition. Sa réponse fut un simple remercîment pour ma communication, et l'avis que, lorsque *le temps* aurait consacré les avantages du nouveau système sur celui des grues à bras, la Chambre jugerait s'il y avait lieu de l'adopter.

C'était renvoyer l'application aux calendes grecques; et, pour en terminer, je fis alors à la Chambre la proposition de tout prendre à ma charge et d'appliquer, sous ma responsabilité, la vapeur à ses grues à bras, si elle voulait seulement me concéder le privilége d'exploitation de ces grues pendant cinq ans. Je m'engageais, en outre, à assurer à la Chambre un *bénéfice net de 50 cent. par tonneau* chargé ou déchargé, à *diminuer le prix du déchargement* payé par le commerce, et à garder pour moi, moyennant le prix net de *1 fr. 10 cent. par tonneau, arrimage et désarrimage compris*, tous les frais et toutes les éventualités de l'entreprise.

En présence des avantages que j'offrais au commerce, la Chambre ne pouvait plus reculer, et elle accepta mes offres, mais en plaignant, dans son for intérieur, le pauvre entrepreneur qui osait faire de telles propositions.

Quatre grues ordinaires me furent concédées, et j'en fis quatre grues à vapeur à peu près calquées sur le système de celle de Rouen. En 1858, ces grues commencèrent à fonctionner, et, depuis cette époque, elles n'ont pas cessé de marcher et de donner des résultats qui ont fait crier au monopole, et qui ont même valu à la Chambre de commerce les plus vives critiques, parce qu'elle m'avait concédé une opération si avantageuse.

En effet, dès 1859, des brochures faites par des négociants de Bordeaux commencèrent à paraître, et ces négociants, faisant le calcul de mes bénéfices, sans s'applaudir que les opérations se fissent plus vite et plus économiquement que par le passé, blâmaient la Chambre qui avait donné à un particulier une opération fructueuse dont elle eût pu faire profiter le commerce, en faisant directement elle-même l'application que j'avais proposée.

Dans une de ces brochures, écrite par M. Préveraud de Sonneville, armateur, on lit ce qui suit :

« *Revenu probable pour M. Maldant.*

« Avec ces grues, qui vont trois fois plus vite que celles à bras, c'est « rester en dessous de la vérité que d'estimer à 100 tonneaux par jour « la quantité de marchandises que chaque grue pourra hisser de la cale « sur le quai, ou descendre du quai dans la cale, soit donc, pour les « quatre grues concédées, 400 tonneaux par jour, à 70 cent. (net, arri- « mage déduit). . . . . 280 fr.

« De cette recette positive, déduisons les frais que je surchargerai plutôt que de les diminuer :

« 4 ouvriers mécaniciens à 7 fr. 50 c. l'un par jour,	30 fr.
« 4 hectolitres de charbon à 3 fr. 50 c. l'un. . .	14
« 4 manœuvres sur le quai, pour diriger la grue, à 3 fr.	12
« Réparation de moteurs, moins-value des machines, imprévu.	12
« On voit que je compte largement : 12 fr. par jour !	
Total à déduire.	68

« Bénéfice net pour les quatre grues et par jour. . . . . 212 fr.
« ou en nombre rond, au moins 200 francs.

« Or maintenant, si nous admettons, ce qui est rester, je le crois, en « dessous de la réalité, que, sur 365 jours, chaque grue à vapeur sera

« bien utilement employée 180 jours, nous trouvons, pour M. Maldant, « un revenu à peu près certain de 36,000 fr. par an pour un capital en- « gagé de 10,000 fr. Décidément, je comprends aujourd'hui comment « M. Maldant a pu écrire :

« Qu'il allait démontrer qu'il avait fait avec la Chambre un *traité avan-* « *tageux* pour le commerce d'importation. Supprimons ce dernier « membre de phrase, et nous serons d'accord avec lui, nous renchéri- « rons même, et nous dirons un *traité très-avantageux.* »

Il y avait loin de cette opinion à celle écrite par les ingénieurs consultés par la Chambre de commerce, quelques années auparavant.

Disons pourtant que les résultats indiqués par M. de Sonneville sont un peu exagérés; le capital que j'avais engagé dans cette entreprise m'a rapporté à peu près 200 *p.* 100 *par an* pendant la durée de ma concession. Ce résultat est assez beau par lui-même pour n'avoir pas besoin d'être embelli.

Maintenant, il me sera facile de faire apprécier les avantages comparatifs que présentent les grues à vapeur sur les grues à bras, en prenant des chiffres exacts dans les livres mêmes du service que j'ai dirigé pendant sept ans à Bordeaux.

Ces chiffres permettent d'établir comme suit les frais journaliers d'une grue à vapeur de 1,500 kil., ayant deux chevaux de force, et étant employée au déchargement courant d'un navire de marchandises accosté à quai.

La dépense journalière moyenne se décompose comme suit :

Un mécanicien.	5 fr.	» c.
Un aide.	3	50
60 kil. charbon (compté à 40 fr. la tonne).	2	40
Réparations et entretien, graissage, etc.	»	90
Frais divers et amortissement du capital en vingt ans.	1	»
Total des frais par jour de travail.	12 fr.	80 c.

A côté des frais, il faut placer le travail produit; or celui-ci, qui serait aisément *de* 200 *à* 250 *tonneaux par jour*, chargés ou déchargés à une hauteur moyenne de 8 mètres, si la grue était réellement utilisée à peu près selon sa force, n'est guère, pratiquement, que de 100 à 120 tonneaux de 1,000 kil. déchargés par jour, par suite de la variabilité et souvent du peu de poids des colis divers, et aussi à cause des pertes de temps de toute espèce résultant de l'arrimage ou du désarrimage des marchandises dans la cale du navire, etc., etc.

En appliquant au chiffre le plus bas de 100 tonneaux seulement *les*

frais ci-dessus d'une journée de travail, on voit que ces frais représentent une somme de 12 *à* 13 *centimes par tonneau* de marchandises.

Au moyen de ces éléments pratiques d'appréciation, tout particulier et toute compagnie qui auront des marchandises, des colis, des fardeaux quelconques à charger ou décharger, pourront facilement estimer le travail et les bénéfices à attendre de l'application des grues à vapeur à leurs travaux. En effet, aux éléments ci-dessus, il suffira d'ajouter, pour connaître ces bénéfices, le prix de revient de l'appareil et la quantité de travail journalier qu'on pourra lui donner à faire.

On comprendra aisément que l'avantage important des grues à vapeur résulte de la *grande vitesse* d'ascension de la charge; car, en effet, si nous supposons le travail d'un homme, agissant sur une manivelle, égal à 6 kilogrammètres par seconde, une machine de deux chevaux produira autant de travail ascensionnel que vingt-cinq hommes, ou à peu près le même travail que six grues à bras manœuvrées chacune par quatre hommes[1].

En présence de résultats aussi satisfaisants et aussi manifestes, il est difficile de comprendre que l'usage des grues à vapeur ne soit pas plus général, et mon but principal, en appelant l'attention de la Société sur ce point, a été surtout d'en faire apprécier pratiquement les avantages et d'en encourager le développement.

Les grues, ainsi que les treuils à vapeur employés à bord des navires, ou dans les constructions des édifices, dans les mines, etc., ont d'ailleurs subi des simplifications et des perfectionnements récents qui en rendent le prix très-modéré et l'usage on ne peut plus facile.

Je pourrais me livrer, à ce sujet, à une étude comparative des divers systèmes de grues à vapeur qui sont loin d'avoir donné tous des résultats également satisfaisants; mais ce serait peut-être entrer dans une discussion qui m'entraînerait au delà du but que je me suis proposé. Je me bornerai à dire que les leçons de la pratique ont une grande importance pour déterminer la véritable valeur de certains perfectionnements, tels que le mouvement rotatif ou pivotant produit mécaniquement, les débrayages, etc., perfectionnements que la théorie semble recommander et que l'usage condamne.

A mon avis, la *simplicité du mécanisme* doit être une des conditions les plus essentielles à rechercher dans la construction des grues et des treuils à vapeur.

1. Il est facile de voir que, si les grues à vapeur n'élèvent pas constamment les fardeaux, c'est-à-dire si elles ne produisent qu'un travail ascensionnel intermittent, elles sont, sous ce rapport, dans les mêmes conditions que les appareils élévatoires de tous les systèmes possibles; et que, par suite, les ingénieurs consultés par la Chambre de commerce de Bordeaux avaient eu tort d'y voir une cause quelconque d'infériorité, et d'en déduire la condamnation trop précipitée d'un système dont, au contraire, les preuves sont si largement faites aujourd'hui.

Ainsi, pour citer des exemples, j'ai vu souvent supprimer dans des grues à vapeur, notamment dans celle que j'avais fait établir dans le port de Barcelone, tout le mécanisme destiné à produire, par l'action de la vapeur, le mouvement rotatif de la grue. En effet, ce mécanisme ajoute une dépense de vapeur à la chaudière et une grande fatigue à la machine; il complique le mouvement et augmente les chances d'accidents et les réparations; il empêche de commencer le mouvement rotatif avant que le fardeau soit arrivé et arrêté à sa hauteur extrême, ce qui cause généralement un retard, au lieu d'activer l'opération, et il entraîne tous ces inconvénients sans produire aucun avantage *important*. En effet, si la vapeur appliquée directement à l'ascension de la charge remplace environ vingt-cinq hommes, la vapeur employée à faire pivoter la grue *ne se propose* d'en remplacer qu'*un*.

Je dis avec intention « *se propose*, » car, en effet, dans la pratique, l'homme qui fait pivoter la grue, en tirant sur une corde fixée au haut de la flèche, *ne peut pas être supprimé;* il est toujours indispensable pour aider le mécanicien et empêcher celui-ci de quitter son poste[1].

Si, parmi ceux de nos collègues qui se sont occupés de l'étude, de l'installation et de l'emploi des *grues et appareils hydrauliques*, il s'en trouvait qui voulussent faire un rapport sur ces appareils *spéciaux*, qui présentent, eux aussi, des avantages importants dans les docks et dans les établissements fermés où il existe une grande concentration des appareils élévatoires, et où les moindres chances d'incendie doivent être rigoureusement écartées; s'il se trouvait, dis-je, de nos collègues, plus autorisés que moi, qui voulussent bien continuer cette première communication par un rapport sur les appareils *hydrauliques* appliqués au soulèvement des fardeaux, au chargement et au déchargement des marchandises, ainsi que sur les frais inhérents à l'installation et à l'emploi de ces machines particulières, je crois qu'ils rendraient grand service à des industries importantes qui hésitent souvent sur le choix des *meilleurs moyens* de chargement et déchargement qu'elles ont intérêt à adopter.

Enfin, si ces communications vous paraissent, comme à moi, em-

1. La manutention considérable des marchandises, dans les chemins de fer, le poids des minerais, du combustible et des fondants à élever à la hauteur du gueulard des hauts-fourneaux; les matériaux à sortir des carrières, des mines, etc., etc.; les produits des draguages des ports et des rivières à répandre en dehors de leurs lits; les matériaux à élever pour la construction des édifices; le chargement des navires, des bateaux divers; en un mot, le déploiement énorme de force motrice qu'exigent chaque jour ces opérations variables, du soulèvement des fardeaux; tout cela a une importance telle, qu'il me semble qu'on ne saurait étudier et comparer avec assez de soin les divers systèmes mécaniques en usage dans les industries spéciales; pour en déduire, pour chaque cas déterminé, *le meilleur mode* à employer. Ce serait le moyen d'éviter aux intéressés l'adoption des moyens coûteux et des applications mal entendues.

preintes d'un caractère sérieux d'utilité générale, je pourrai compléter cette première communication par une étude rapide des appareils en usage et de ceux à recommander pour l'industrie aujourd'hui si considéràble à Paris et dans les grandes villes, de l'élévation des matériaux *pour la construction des édifices,* etc., etc.

SUR LE GISEMENT DE PÉTROLE

DES KARPATHES,

PAR M. FÉLIX FOUCOU.

PREMIER MÉMOIRE.

Le nombre toujours croissant des gîtes de pétrole découverts en Europe donne lieu d'espérer que, dans un avenir plus ou moins éloigné, notre vieux continent cessera d'être tributaire de l'Amérique pour la consommation des huiles minérales.

Dans ces conditions, si les procédés relatifs à l'extraction des matières éclairantes et autres, contenues dans le pétrole brut, ont une importance capitale, les méthodes de recherche des gisements eux-mêmes n'intéressent pas moins l'avenir de cette industrie naissante.

Jusqu'ici, les livres qui ont parlé du pétrole se sont étendus sur le mode d'utilisation de la matière brute, sans donner de grands détails touchant les moyens à employer pour la découvrir. C'est que les premiers succès étaient dus à peu près exclusivement au hasard. Du reste, le nombre des gîtes était à l'origine trop restreint pour qu'il fût possible de démêler entre eux une loi de groupement quelconque, dont on pût tirer parti dans la pratique.

A mesure que le temps s'écoule et que le nombre des puits à pétrole en cours d'exploitation augmente, il semble que les recherches ultérieures puissent être dirigées avec des chances de succès plus grandes. La distribution géographique des terrains oléifères connus révèle certaines directions bien déterminées, le long desquelles il paraît préférable de pousser les explorations.

C'est du moins le sentiment que nous avons rapporté d'un voyage accompli en Galicie pendant les mois de juin et de juillet derniers. Un second voyage que nous devons faire prochainement dans le même pays nous permettra sans doute de recueillir de nouveaux faits qui donneront plus de valeur à cette opinion, s'ils ne la ruinent pas de fond en comble. Mais nous croyons devoir soumettre à la Société, dès à présent, le résultat de nos premières études.

I

Le pays que nous avons visité est cette partie de l'empire d'Autriche située sur le versant nord des Karpathes. A proprement parler, ce n'est point la Galicie tout entière, mais seulement la Galicie occidentale. Les eaux de cette région se rendent dans la mer Baltique par l'intermédiaire de la Vistule. On sait d'ailleurs que les eaux de la Galicie orientale se déversent dans la mer Noire par différents fleuves ou rivières, au nombre desquels sont le Dniester, le Pruth et le Sereth. La ligne de partage de ces eaux est indiquée par une saillie que fait la chaîne des Karpathes, dans la direction du nord-nord-est (vers Lemberg), lorsqu'après avoir longtemps couru à peu près de l'ouest à l'est, elle s'infléchit brusquement vers le sud-est, dans la direction de la Moldo-Valachie.

En jetant les yeux sur la carte géologique de la Galicie, on voit que la composition des terrains est la même sur les versants septentrional et oriental de ces deux grands rameaux de la chaîne principale. En même temps, si l'on observe la position des gîtes de pétrole déjà découverts, soit dans la Galicie occidentale, soit dans la Galicie orientale, soit à travers la Bukovine et jusqu'en Moldavie, on constate que ces gîtes courent d'abord à peu près de l'ouest à l'est, pour s'infléchir ensuite brusquement vers le sud-est : c'est-à-dire qu'ils suivent exactement la direction générale des Karpathes. Aussi les trois régions d'huiles minérales ci-dessus dénommées n'en font-elles qu'une. Il n'y a, dans cette partie de l'Europe, qu'un seul et même système de réservoirs de pétrole, — c'est le système carpathique. De là le titre même du présent mémoire : *Sur le gisement de pétrole des Karpathes.*

Les localités dans lesquelles on a découvert et on découvre tous les jours encore le pétrole, en Galicie, sont groupées au sud du chemin de fer de Cracovie à Lemberg. Les extrêmes limites de cette région sont : la ville de Alt-Sandec, à l'ouest, et celle de Drohobycz, à l'est. Au nord, la zone remonte jusqu'à Dynow. Au sud, elle descend vers Rzepedz et Komancza, pour aller rejoindre les gisements de la partie orientale, par Smolnik, Polanka et Tustanowice. Telles sont les limites actuelles de la région du pétrole en Galicie; mais ces limites ne seront plus les mêmes dans un an, dans six mois peut-être, car on découvre tous les jours, dans ce pays, de nouveaux gîtes.

La distance qui sépare les deux points les plus éloignés, de l'ouest à l'est de la zone décrite, est d'environ 200 kilomètres. Du nord au sud, la même zone peut mesurer 70 kilomètres au plus. Dans ce rectangle très-irrégulier, qui représente plus de 1 million d'hectares de superficie, on ne compte guère plus de vingt-cinq exploitations régulières. Les autres, en très-grand nombre et situées surtout dans la partie orientale, ne méritent pas le nom d'exploitations, bien qu'en ce lieu la terre soit littéra-

lement criblée d'orifices pratiqués par les paysans, à de très-petites profondeurs.

Au delà de Drohobycz, les gîtes descendent vers la Moldavie, en courant du nord-nord-ouest au sud-sud-est, à travers les terrains tertiaires de la Bukovine.

Lorsqu'on observe la distribution des gîtes qui constituent ce que nous appelons le gisement de pétrole des Karpathes, on reconnaît immédiatement que ces gîtes se groupent selon trois directions bien déterminées.

Première direction. — Ils reproduisent d'abord une figure parallèle à la crête des Karpathes. Autrement dit, ils s'échelonnent de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est, dans la Galicie occidentale, et du nord-nord-ouest au sud-sud-est dans la Galicie orientale, la Bukovine et la Moldavie. Nous appellerons cette figure la direction *générale*, parce qu'elle groupe tous les gîtes qui font partie du gisement général.

Deuxième direction. — Un grand nombre de gîtes voisins les uns des autres sont nettement orientés de l'ouest à l'est dans la Galicie occidentale. Nous donnerons à cette direction le nom de *secondaire*, parce qu'elle nous paraît avoir pour cause une circonstance tout à fait locale, dont il sera parlé au chapitre suivant.

Troisième direction. — Enfin les gîtes s'échelonnent encore du nord au sud, sur une bande dont la largeur maximum n'atteint pas 1 degré en latitude.

En attendant que des pointages plus nombreux et une étude plus approfondie de la question nous permettent de débrouiller complétement ce canevas, nous allons essayer de nous rendre compte de ces trois directions.

Il est clair d'abord que les relèvements nord et sud n'ont aucune importance. Dans cette direction, la région du pétrole se trouve limitée d'un côté par la crête des Karpathes, de l'autre par la ligne des gîtes salins, commençant à Wieliczka, près de Cracovie. Cette ligne borde extérieurement la région du pétrole, dont elle suit tous les contours avec une précision remarquable jusqu'en Moldavie. Ce premier fait d'alignement ne peut donc être considéré comme ayant une valeur propre. Il résulte de la juxtaposition des lignes de relèvement qui se dirigent de l'ouest à l'est, en se relevant plus ou moins vers le nord ou en inclinant plus ou moins vers le sud. Ces lignes ne sont pas réduites à un seul faisceau, mais elles constituent plusieurs faisceaux parallèles dont l'ensemble forme une zone de moins de 1 degré de largeur du nord au sud.

Nous restons donc seulement en présence de la première et de la deuxième directions, et il devient intéressant de se demander si elles peuvent être acceptées comme guides par les explorateurs galiciens.

Occupons-nous d'abord de la direction générale, qui reproduit une

figure parallèle à la crête des Karpathes. Cette figure, avons-nous dit, présente deux traits bien distincts : l'un, dirigé de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est; l'autre, du nord-nord-ouest au sud-sud-est. Or nous croyons pouvoir rapporter chacune de ces deux lignes à un système de dislocation de l'écorce terrestre, bien défini.

Dès l'année 1863, M. de Chancourtois présentait à l'Académie des sciences une série de mémoires ayant pour titre : *Application du réseau pentagonal à la coordination des sources de pétrole et des dépôts bitumineux.* Voici comment s'exprimait l'auteur de ces mémoires dans sa première communication :

« Quoique les phénomènes de la vie végétale ou animale jouent ou puissent jouer à coup sûr un rôle important dans la fixation et l'accumulation des produits naturels hydrocarburés, il me semble qu'en ayant égard seulement à ces phénomènes on reste ordinairement à une grande distance de la cause véritablement originaire, et souvent même tout à fait en dehors de la voie qui pourrait y faire remonter. Pour moi, les produits hydrocarburés sont en général des résultats plus ou moins directs d'émanations, c'est-à-dire de phénomènes éruptifs, et j'en donnerai, je crois, une preuve, en faisant ressortir des faits d'alignement qui n'ont évidemment leur raison d'être que dans l'existence des fissures de l'écorce terrestre. »

M. de Chancourtois, dans un précédent travail sur la distribution des gîtes de fer, avait été frappé de ce fait, que les gîtes de bitume de Seyssel et ceux des environs de Clermont fournissent un alignement rigoureusement parallèle à la direction du système des Pays-Bas. Il est remarquable aussi que les principaux gîtes de pétrole des États-Unis soient situés sur le prolongement du faisceau de fracture qui donne passage au Saint-Laurent; lequel faisceau, prolongé dans notre hémisphère, vient aboutir à une localité célèbre par ses sources de pétrole — à la presqu'île d'Apcheron qui termine la chaîne du Caucase dans la mer Caspienne, près de Bakou.

En résumé, il ressort de ces recherches si intéressantes que, lorsqu'on trace les principales lignes de grand cercle qui relient les gîtes de naphte, de pétrole ou d'asphalte des diverses parties du globe, on voit apparaître des rapprochements inattendus, tels par exemple que la concordance de ces lignes de grand cercle avec les cours des grands fleuves près de leurs embouchures.

Or il se trouve que la région qui nous occupe en ce moment est traversée en écharpe par une ligne de fracture extrêmement importante, allant des bouches de l'Oder aux bouches du Danube,—ligne dont l'existence avait été révélée longtemps avant la découverte des gîtes de pétrole de la Galicie. Ainsi on avait déjà groupé suivant cette direction les nombreux gîtes salins de la contrée, gîtes dont quelques-uns l'emportent de beaucoup en richesse sur tous les dépôts de sel connus en Europe. En

outre, diverses considérations tirées de la nature des terrains et de l'orographie des pays situés entre Stettin et le bas Danube, ainsi que des épanchements métalliques dont cette région a été le théâtre, avaient achevé de montrer que l'écorce terrestre a dû subir, sur ce point, un ensemble de grandes fractures parallèles dirigées à peu près du nord-ouest au sud-est.

Si l'on veut préciser davantage cette direction, il faut prendre le cours inférieur du Danube entre Galatz et la mer Noire, ainsi que le cours inférieur de l'Oder. On voit alors que ces deux lignes fournissent un faisceau parallèle à la branche orientale des Karpathes, faisceau qui rallie tous les gîtes bitumineux de la Moldavie, de la Bukovine et la plus grande partie de ceux de la Galicie orientale.

La direction nord-nord-ouest et sud-sud-est qu'affectent ces gîtes est donc ainsi reliée à un phénomène général de dislocation de l'écorce terrestre. Il nous paraît vraiment digne d'attention que ces réservoirs de produits hydrocarburés, découverts comme ils l'ont été pendant ces dernières années, non par des géologues armés d'une théorie générale, mais par des paysans ou des propriétaires qui cherchent presque toujours en aveugles, soient précisément venus s'aligner suivant un faisceau de rupture déjà signalé pour des motifs tout autres. Ce fait n'est-il pas de nature à encourager les explorateurs à se laisser guider par des considérations de géographie géologique avant d'entreprendre aucune recherche sur le terrain?

Mais ceci ne concerne encore que la partie orientale du gisement de pétrole des Karpathes. Les gîtes de la Galicie occidentale ne sont point ralliés, du moins en totalité, par la ligne que dessinent le Danube et l'Oder près de leurs embouchures. Comme nous l'avons dit, la direction qu'affectent ces derniers gîtes est moins inclinée vers le sud : elle court de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est, parallèlement à la branche occidentale des Karpathes.

En cherchant à quel système il était possible de rattacher cette direction, nous avons pensé qu'il y avait lieu de s'arrêter, jusqu'à nouvel ordre, à celui qui est tout naturellement indiqué par la presqu'île d'Apcheron, d'une part, et les gîtes bitumineux d'Elgin (en Écosse), de l'autre. La ligne qui joint ces deux localités fameuses traverse la Galicie occidentale parallèlement à la crête correspondante des Karpathes; de plus, elle passe par les gîtes que l'on vient de découvrir récemment dans le Hanovre. Elle nous fournit donc quatre stations importantes en ligne droite, et en même temps, par sa direction ouest-nord-ouest et est-sud-est, elle rallie sur sa route les gîtes de la Galicie restés en dehors du premier système de relèvements.

Avec toute la réserve que commandent ces sortes de questions, nécessairement encore fort obscures, nous croyons pouvoir engager les explorateurs de pétrole en Galicie à diriger leurs recherches de préférence :

1° S'ils se trouvent à l'ouest de la ligne de partage des eaux, suivant une direction *ouest-nord-ouest* et *est-sud-est;*

2° S'ils se trouvent à l'est de la ligne de partage des eaux, suivant une direction *nord-nord-ouest* et *sud-sud-est.*

La bande de terrain propice aux recherches, — à en juger par la distribution actuelle des gîtes, — paraît aller en se rétrécissant, à mesure que l'on s'avance de l'ouest vers le sud-est. Mais tout fait présumer que ce n'est là qu'une apparence, provenant de ce que la région occidentale a été mieux explorée que celle qui descend vers la Bukovine. D'après la carte géologique de la Galicie, dressée à l'*Institut impérial géologique de Vienne*, les terrains bitumineux se prolongent, sans rien perdre de leur puissance, jusqu'en Moldo-Valachie[1]. Il paraît donc infiniment probable que la région située au sud-est de la Galicie fournira plus tard aux observateurs un canevas aussi riche que celui de cette contrée.

II

Nous avons parlé, dans le chapitre précédent, d'une direction secondaire qu'affectent les gîtes voisins les uns des autres, dans la Galicie occidentale. Cela nous amène à indiquer la nature des terrains dans lesquels on recueille le pétrole des Karpathes. Ces terrains sont généralement des schistes plus ou moins sableux ou argileux, et plus ou moins imprégnés de produits hydrocarburés. Comme on peut le voir par la carte géologique de la Galicie, tout le versant septentrional et oriental des Karpathes appartient à la formation crétacée. Mais au-dessus des terrains de sédiment qui furent déposés par la mer et par les eaux douces, durant les époques géologiques, on voit apparaître, à mesure que l'on descend vers la plaine, des couches de formation plus récente. Sur les versants polonais et hongrois, le grès carpathique domine; puis on entre, du côté de la Pologne, dans le grès à nummulites et dans l'éocène, première couche de la formation tertiaire.

C'est dans l'éocène que se trouvent les gîtes de pétrole, sur tout le parcours du gisement. Un peu plus loin, en avançant toujours vers le nord et vers l'est, le terrain devient plus récent encore. On entre dans le miocène, qui est nettement caractérisé par les gîtes de sel. Aussi les localités comme Starasol et Drohobycz, dans lesquelles on rencontre le sel et le bitume à côté l'un de l'autre, marquent-elles les points de jonction des terrains éocène et miocène.

1. Nous n'avons que des renseignements très-vagues sur les gîtes de pétrole déjà découverts en Valachie. Mais, si nous sommes bien informé, un géologue, estimé du monde savant, a parcouru très-récemment cette province, dont nous connaîtrons ainsi bientôt le canevas.

Les couches de schistes bitumineux noirs, dans lesquelles on trouve souvent le pétrole, sont intercalées dans le grès à nummulites et remontent très-haut vers la crête des Karpathes. Nous avons rapporté des échantillons recueillis à peu de distance de la frontière de Hongrie, à 1,000 mètres d'altitude environ. Ce schiste est très-pyriteux et donne, par la distillation, un pétrole qui exhale une forte odeur de soufre. Il est à remarquer, au contraire, que le pétrole recueilli à l'état liquide dans les couches plus argileuses de la plaine, vers Sanok et Dukla, est beaucoup moins sulfureux et d'une odeur qui rappelle tout à fait celle du pétrole de Pensylvanie.

Maintenant, si l'on observe que les puits creusés dans une même couche de terrains bitumineux sont très-fréquemment orientés de l'ouest à l'est, on sera conduit à penser qu'il existe dans le sous-sol de la contrée un système de failles parallèles, alignées suivant la même direction. Nous citerons comme exemple l'exploitation de M. Okolowicz, située à deux kilomètres environ de la ville de Sanok.

Ce propriétaire a dépensé 40,000 francs en trois ans dans des recherches infructueuses. A la fin, il a été récompensé de sa persévérance, et au mois de juillet dernier il possédait seize puits; huit dans une couche et huit dans une autre, *alignés de l'ouest à l'est*, dans chacun des deux cas. Ces puits ont été creusés à la pioche. Ils sont carrés et cuvelés avec des pièces de bois dégrossies placées en travers. Leur profondeur varie de 25 à 45 mètres. Les puits les plus profonds sont ceux qui rendent le plus d'huile. Ces seize puits ensemble donnaient, à la date du 7 juillet dernier, 20 quintaux de pétrole brut par jour. A cette distance du chemin de fer, le pétrole sortant du puits est payé 7 florins le quintal, soit environ 315 francs la tonne. Mais M. Okolowicz, comme un certain nombre d'exploitants en Galicie, raffine lui-même ce pétrole, qui se vend alors 17 florins la tonne.

En outre des indices tirés de l'alignement des puits creusés dans une même couche, diverses particularités extérieures viennent concourir à prouver l'existence d'un système de failles souterraines transversales, alignées de l'ouest à l'est, dans la Galicie occidentale. D'abord, cette direction coïncide, à quelques degrés près, avec celle des fractures des affleurements. En second lieu, un indice qui paraît être d'un grand secours dans ces sortes de recherches, est celui que l'on peut tirer de la direction des cascades, lorsque ces dernières ne sont le résultat ni d'un éboulement, ni de l'action des eaux courantes. Il y a alors une relation étroite entre la direction de ces surfaces découvertes et celle des cavités situées à de certaines profondeurs dans le voisinage. Or nous avons observé que beaucoup de cascades sont orientées de l'ouest à l'est, dans la zone que nous avons parcourue et qui s'étend de la frontière hongroise vers Dukla.

Dans ce premier mémoire, exclusivement consacré à l'examen des in-

dices qui peuvent guider les explorateurs de pétrole, nous n'avons abordé aucun détail relatif aux exploitations qui ont lieu en Galicie. Ce sera l'objet d'une seconde communication, dans laquelle nous ferons connaître aussi quelques particularités sur le pays lui-même et la population antiindustrielle qui l'habite.

Mais, avant de terminer, signalons un dernier indice tiré de la végétation des contrées bitumineuses, et qui vient compléter ceux que l'on peut déduire de la distribution générale des gîtes et des accidents de terrains. Cet indice est la présence des forêts d'arbres résineux.

Bien que les bois de la Galicie soient rapidement dévastés, par suite du besoin d'argent de leurs propriétaires, on trouve encore sur le versant nord des Karpathes des forêts magnifiques. Le sapin domine dans ces forêts, tandis qu'il fait défaut sur le versant méridional, en Hongrie, où les schistes bitumineux de Galicie n'affleurent point.

Voici d'ailleurs une autre observation plus circonscrite et d'un caractère tout local. Sur le massif montagneux de Mykow, près de Komancza, les sapins couvrent les pentes où affleurent les schistes bitumineux; tandis que, de l'autre côté, où le grès seul se montre dans les ravins, presque tous les arbres sont des hêtres.

Pour conclure, nous croyons que la découverte des gîtes de pétrole dans les Karpathes est de nature à corroborer l'opinion qui fait venir les hydrocarbures liquides, non de la surface, mais des profondeurs de la terre, et qui relie ces émanations spéciales aux phénomènes de dilatation et de contraction de la croûte terrestre. Il est aisé d'entrevoir le secours immense qu'un pareil fait, s'il devenait incontestable, apporterait aux recherches de gîtes bitumineux.

M. de Hochstetter, professeur à l'École polytechnique de Vienne, a émis dans un récent mémoire[1] une opinion qui se rapprocherait beaucoup de celle-ci, sans aller cependant aussi loin qu'elle. Pour ce savant, l'existence d'une grande ligne de dislocation traversant la Galicie en écharpe et ayant livré passage à des émanations bitumineuses ne fait aucun doute. Seulement, il pense que ces émanations proviennent du terrain houiller dont on exploite les affleurements près de Cracovie, et qui paraît se prolonger sous les Karpathes à de grandes profondeurs.

Peut-être, à la suite du savant français dont j'ai cité le nom, faudrait-il faire un pas de plus, et dire qu'il y a eu, qu'il y a encore tous les jours des éruptions bitumineuses venant de l'intérieur de la terre, comme il y a eu des éruptions trachytiques, métallifères et autres. Il paraît probable que les hydrocarbures font éruption sous forme de gaz. On sait du moins que, dans les grands travaux de sondage entrepris en Amérique par les explorateurs de pétrole, il est arrivé que la sonde, après l'épuisement

1. *Ueber das Vorkommen von Erdöl and Erdwachs in Sandecer Kreise.* — Mars 1865.

d'une nappe d'huile jaillissante, a pénétré dans des cavités plus profondes qui n'ont plus laissé échapper que des gaz hydrocarbonés. Le phénomène de la formation des huiles minérales comporterait alors une explication assez simple.

Les gaz, liquéfiés en partie par la compression, s'élèvent ensuite à travers les roches superposées et viennent remplir les cavités souterraines qui se rencontrent surtout dans le calcaire. Lorsque ces roches sont des schistes ou des couches stratifiées, la capillarité intervient en outre de la pression, dès que les plans de clivage sont redressés, — comme cela a lieu en Galicie, où les terrains ont été disloqués dans plusieurs sens et à plusieurs reprises.

Enfin cette théorie expliquerait peut-être certaines particularités de la formation des houillères par l'épanchement des hydrocarbures liquides à travers les forêts de l'ancien monde. Les schistes sableux et argileux de la Galicie paraissent avoir été injectés de la sorte par des torrents de matières bitumineuses, arrivées de réservoirs inférieurs qui sont encore inconnus.

La découverte de ces réservoirs ne serait pas seulement d'une grande importance au point de vue industriel : elle ouvrirait encore un nouveau champ d'étude aux géologues, dont elle confirmerait si bien les prévisions. Les naturalistes, à leur tour, trouveraient une source d'intérêt considérable dans cette solution du problème de l'origine des huiles minérales. Les indices tirés de la végétation des contrées bitumineuses ne sauraient être, croyons-nous, révoqués en doute. Si donc il était définitivement acquis que les émanations, bitumineuses ou autres, sont liées aux phénomènes de contraction et de dilatation de l'écorce terrestre, il deviendrait impossible de ne pas rattacher à ces mêmes phénomènes la distribution géographique des espèces végétales et animales.

NOTE

SUR

LE LAVOIR A CHARBON

DE MM. AUGUSTE DETOMBAY ET SCHEUREN,

PAR MM. HUET et GEYLER.

Quel que soit le système de lavoir adopté pour épurer le charbon, on est généralement d'accord sur ce point qu'un bon classement par volume facilite considérablement l'opération, qu'il permet le traitement d'une plus grande quantité de matières dans un temps donné, et qu'on obtient des produits d'autant plus purs qu'il aura été mieux fait.

En France, cette classification se réalise le plus souvent à l'aide de tamis à secousses; en Allemagne et en Belgique, le trommel est plus généralement employé; quant à nous, nous lui donnons aussi la préférence; car si, comme on l'a dit, il fait un peu moins de travail, ce qui est loin d'être prouvé, il est certainement incontestable que le travail est mieux fait et qu'il s'opère dans des conditions de beaucoup préférables à celles du tamis.

Le classement à obtenir consiste à isoler les morceaux plus gros que 20 ou $30^{m}/_{m}$, et les fins au-dessous de 3 ou $5^{m}/_{m}$; la classe intermédiaire de 30 à $5^{m}/_{m}$ étant seule soumise à l'épuration.

Dans les établissements importants, où l'emploi de plusieurs appareils est nécessaire pour satisfaire au lavage des quantités à produire, les matières à épurer sont ordinairement divisées en trois classes spéciales, traitées séparément, chacune sur un crible, et, à cet effet, les trommels ou les tamis portent des tôles perforées de trous de à peu près 3, 6, 14 et $30^{m}/_{m}$.

Mais dans les usines de moindre importance où un seul crible suffit, ou bien encore là où par des raisons quelconques on n'est pas tenu à faire le mieux possible, toute la classe intermédiaire de 3 à $30^{m}/_{m}$ passe en bloc dans le même lavoir.

Tous les lavoirs à charbon dérivent des cribles employés pour le lavage des minerais métalliques; tous reposent donc sur le même principe

qui met à profit les différences de densité, et dans tous aussi l'extraction du charbon épuré plus ou moins bien s'opère *à l'aide d'un courant d'eau agissant en déversoir*. Sauf quelques détails dans l'arrangement et dans les moyens d'introduire l'eau, les lavoirs exécutés jusqu'à ce jour se ressemblent tous à ce point de vue.

Le lavoir à charbon de MM. Aug. Detombay et Scheuren, installé pour la première fois à l'usine du Val-Benoît, en juillet 1864, fait seul exception à ce mode d'extraction et réunit encore d'autres améliorations que nous allons signaler.

Voici par quelles considérations MM. Detombay et Scheuren ont été amenés à introduire dans les bacs à piston les changements qui ont si bien réalisé leurs prévisions.

D'abord, disent-ils, l'expérience constate que le charbon brut admis sur la grille de lavage contient moyennement environ 3 °/₀ de matières boueuses, ces 3 °/₀ étant ainsi composés :

65 °/₀ en matières nuisibles;

35 °/₀ en charbon pur.

Mais les moyens de lavage actuellement connus ne permettant pas la séparation de ces deux catégories, il est important de s'en débarrasser pendant le travail, sans quoi elles s'accumuleraient dans la cuve, l'encombreraient et nuiraient au bon fonctionnement de l'appareil en chargeant les eaux; ou bien, chassées en partie hors de la cuve par l'action du piston, elles finiraient par remonter au-dessus de la grille, franchiraient le déversoir avec le charbon lavé, et deviendraient ainsi une cause d'impureté, ce qui a lieu au maximum dans le lavoir Meynier.

Quant aux matières en morceaux, ils font remarquer que les morceaux de *schiste* affectent presque exclusivement la forme lamellaire, très-défavorable à la séparation.

En effet, si l'on prend deux morceaux de *volumes égaux*, l'un de houille, l'autre de schiste en plaquette, il est certain que ce dernier offrira à l'action du liquide une surface beaucoup plus grande que celle du fragment de houille, de sorte que le liquide en mouvement enlèvera le schiste, quoique *plus lourd*, avec autant et même plus de facilité que le morceau de charbon *plus léger*, mais de *moindre section*. L'un et l'autre pourront, par conséquent, être amenés vers les zones supérieures, surtout si la descente du piston, c'est-à-dire si l'ascension de l'eau est trop brusque.

A la descente, une cause analogue de perturbation va se produire d'une manière inverse; ces lamelles schisteuses éprouveront une résistance à leur libre chute, qui en sera retardée; elles n'auront pas alors le temps de prendre de l'avance sur la houille, et elles y resteront mélangées en prenant dans la masse une position plus ou moins horizontale, qu'elles

conserveront d'autant mieux que l'eau descendra avec une vitesse moindre que celle de son ascension.

Dans cet état de choses et avec l'évacuation de l'eau et des matières *par déversoir*, cette sortie se faisant au moment où les matières sont à leur niveau le plus élevé, il est incontestable qu'une certaine portion des schistes sera entraînée au dehors par le courant, et que la proportion en sera d'autant plus importante, que la quantité d'eau évacuée à chaque coup du piston sera elle-même plus considérable.

Aucun des organes mécaniques appliqués au piston, pour produire son ascension et sa descente, ne donne un temps d'arrêt assez prolongé, alors que le piston est à la partie inférieure de sa course, c'est-à-dire lorsque la couche soulevée est à son maximum d'élévation.

Le classement n'a donc pas le temps de se faire convenablement, car c'est l'eau, en suivant le piston et en descendant avec lui, qui entraîne houille et schiste sur la grille avec une vitesse plus grande que celle qu'ils auraient respectivement en tombant dans une nappe d'eau à l'état de repos; en d'autres termes, il conviendrait que la descente de l'eau ne se fît que quand les schistes les plus soulevés auraient pris assez d'avance, à la descente, sur les fragments de charbon; alors seulement il serait à peu près certain que les couches supérieures n'en contiendraient plus.

Dans tous les lavoirs à piston, tels qu'ils sont usités jusqu'à ce jour, ces inconvénients existent au plus haut point, suivant MM. Aug. Detombay et Scheuren, soit que l'on fasse usage de la manivelle simple, soit qu'on utilise la coulisse différentielle Fairbairn des machines outils.

Et ils ajoutent encore à ces observations critiques des lavoirs à charbon que, quant au rendement, une expérience de dix années a démontré que, pour obtenir un bon lavage, il n'est pas possible de dépasser la quantité de 80,000 kilog. de charbon épuré en onze heures de travail, avec la surface de grille généralement adoptée de $1^{m},500$; mais qu'il est certain que si l'on ne tient pas à un bon lavage, ce que les circonstances peuvent permettre quelquefois, alors on peut faire passer autant de matières brutes qu'on le voudra, soit 150,000 kilog. par exemple, mais alors aux dépens de la qualité des produits à recueillir.

Enfin, ils concluent en disant que les conditions à remplir pour obtenir d'un lavoir à piston une purification aussi complète que possible de la houille sont les suivantes :

Mouvement du piston. — 1° Soulever les matières assez énergiquement pour obtenir le déplacement complet de la masse déposée sur la grille.

Puis ralentir le mouvement, afin de permettre aux matières légères de prendre de l'avance sur les plus lourdes, d'où résulte un commencement de séparation.

Enfin, arrêt pendant un certain temps, alors que la masse est arrivée au maximum d'élévation, pour que la séparation commencée puisse se poursuivre dans une eau en repos, sans cependant s'y achever entièrement.

Alors la descente du liquide doit commencer avec une rapidité moindre que celle de son élévation, mais telle que les schistes en lamelles puissent être contraints, autant que possible, à prendre une position voisine de la verticale, pour, en gagnant le fond, pouvoir traverser les zones charbonneuses encore en suspension.

Extraction du charbon. — 2° Extraire le charbon purifié de la couche supérieure, et ne commencer cette extraction qu'alors seulement *que la couche est descendue à son niveau le plus bas,* — justement le contraire de ce qui se fait aujourd'hui, — c'est-à-dire quand la *séparation des matières est complétement achevée.*

Extraction des schistes et des schlamms. — 3° Extraire de l'appareil les dépôts schisteux qui se forment sur grille, aussi bien que les boues ou schlamms aspirés par le mouvement ascensionnel du piston, et dont la chute s'est faite au travers de la grille pour gagner le fond de la cuve.

Ces extractions doivent, autant que possible, se faire d'une manière continue, afin d'éviter :

Aux ouvriers des manœuvres pénibles;

Des temps perdus;

L'encombrement de l'appareil, qui reste alors dans de bonnes conditions de marche;

La perte du liquide, en limitant la dépense à la quantité justement nécessaire pour remplacer les pertes de l'eau entraînée par adhérence ou pour conserver le liquide en un état de pureté convenable au travail;

Enfin pour éviter les vannes qui ne fonctionnent qu'à la main d'une manière intermittente, et dont la manœuvre est laissée à la merci d'un ouvrier souvent peu soigneux.

Aucun des lavoirs plus anciens ne satisfait à ces conditions.

Dans le lavoir Bérard, la grille est inclinée, de telle sorte que de son côté le plus élevé se trouve la sortie du charbon, celle des schistes se faisant du côté le plus bas à l'aide d'une contre-vanne ou barrage et d'une vanne. De cette disposition il résulte qu'une notable portion des petits fragments du schiste se mêlant au charbon suivent avec lui le courant ascendant du liquide, et, cheminant sur la grille, s'élèvent peu à peu le long de la paroi de sortie, d'où ils sont expulsés en même temps que la houille pure.

Quant aux gros morceaux de schiste, ils s'accumulent d'abord près de la contre-vanne et finissent par franchir ce barrage pour tomber dans une capacité fermée par la vanne, laquelle n'est ouverte que quand la poche est remplie; la pression d'eau les chasse dehors.

Les boues qui, ayant traversé la grille, ont gagné le fond de la cuve, sont également vidangées par pression au moyen de l'ouverture d'une vanne à ce destinée.

Ce lavoir ne donne que des charbons impurs. Pour l'enlèvement des schistes et des boues, il oblige à une perte de temps et à une perte d'eau.

Si l'ouvrier néglige de vidanger son lavoir, le réservoir du schiste se remplit, les matières nuisibles s'accumulent sur la grille, et bientôt, par-dessus le déversoir, tout sort pêle-mêle, charbon et schiste.

De même, si l'espace destiné aux schlamms arrive à se combler, le piston, en continuant à fonctionner, au lieu de refouler de l'eau, refoulera une boue épaisse et résistante qui, en consommant plus de puissance motrice, s'échappera par le déversoir avec la houille, ou bien crèvera la grille.

Le lavoir Meynier n'a pas de piston; le soulèvement des matières s'obtient par la projection, à l'aide d'une pompe, d'une quantité d'eau (150$^{lit.}$ par coup de piston) capable de ce travail, et à chaque coup de pompe, cette quantité de liquide s'échappe en déversoir, entraînant avec elle non-seulement le charbon, mais aussi toutes les boues qui ne tombent pas dans la cuve en traversant la grille, chute qui ne peut avoir lieu, faute d'aspiration. Par conséquent, ces matières boueuses, recueillies avec la houille, sont pour cette dernière une cause d'appauvrissement, ou si l'on aime mieux, leur présence *enrichit* la teneur *en cendres* de 1,95 à 2 %; il est donc très-important de les isoler.

Enfin, si la quantité considérable de liquide nécessaire à la marche de cet appareil est déjà un très-grave inconvénient, elle en entraîne encore un autre qui mérite d'être signalé. Cette eau, en s'échappant à chaque coup de pompe, emporte avec elle, quoi qu'on fasse pour s'y opposer, une portion très-appréciable du charbon fin, le plus pur, qui alors ne peut plus être recueilli que très-imparfaitement dans des immenses bassins de dépôt où il est souillé de boues diverses.

Le lavoir de Commentry, établi par M. l'ingénieur Forey[1], participe aux inconvénients signalés par MM. Detombay et Scheuren, puisque le charbon, au moment où la masse est à son maximum d'élévation, est déversé de la cuve dans la poche, d'où il est ensuite enlevé par l'extracteur, alors qu'il n'a point atteint le degré maximum d'enrichissement possible; enfin le service des vannes s'y fait aussi à main et dépend encore de la volonté de l'ouvrier.

Quoi qu'il en soit, l'addition de l'extracteur et le nouvel arrangement des vannes réalisent un perfectionnement majeur et font que l'appareil de Commentry est de beaucoup préférable, sous tous rapports, à ceux de MM. Bérard et Meynier.

MM. Aug. Detombay et Scheuren nous ayant signalé les inconvénients des lavoirs actuellement usités et ayant posé un programme des conditions à remplir pour obtenir une épuration plus complète des charbons destinés à la fabrication du coke ou des briquettes, il reste maintenant à examiner jusqu'à quel point ils en ont réalisé les données et comment ils ont résolu le problème qu'ils se sont posé.

1. Voir la description dans le bulletin du 3e trimestre 1864, page 395.

Leur appareil (Pl. 48, fig. 5 et 6), comme tous les autres du même genre, se compose d'une cuve à deux compartiments inégaux; dans le plus petit agit le piston, dans l'autre se trouve la grille de lavage, laquelle est inclinée de l'arrière à l'avant, de telle sorte que le charbon brut versé dans la tremie d'alimentation arrive sur la grille du côté où se trouve la moindre profondeur d'eau pour avancer peu à peu vers la sortie, du côté où la grille plonge à son maximum. Le charbon est extrait vers la surface, du côté opposé à son entrée; le schiste sort également du même côté, à la région la plus basse, tandis que les fins ayant pu traverser la grille tombent vers le fond de la cuve.

Cette très-sommaire description faisant comprendre l'ensemble du jeu de l'appareil, il reste maintenant à expliquer les détails qui en constituent la nouveauté.

Piston.— De données expérimentalement déduites, il résulte que, pour obtenir un bon classement, la course complète du piston doit se décomposer comme suit :

Sa descente devra s'opérer pendant 1/3 du temps nécessaire à la révolution complète de la manivelle.

L'arrêt devra se produire pendant 1/5 du même temps.

Enfin la remontée emploiera le reste du temps, soit 7/15 de la révolution.

Pour satisfaire à ces conditions, les constructeurs ont employé un artifice qui consiste à articuler la bielle *d* sur la manivelle d'un côté, et de l'autre à un levier *c* et à la bielle *f*, cette dernière actionnant directement le piston.

Les fig. 1, 2, 3 et 4, Pl. 48, qui servent à comparer la manivelle ordinaire, la coulisse de Fairbairn et le mouvement de MM. Detombay et Scheuren, démontrent que leur procédé permet de changer le mouvement circulaire continu de la manivelle en un mouvement différentiel rectiligne et alternatif, satisfaisant à la question.

En effet, la descente du piston, ou si l'on aime mieux, l'ascension de l'eau dans la cuve de lavage, se produira pendant le 5/16 du temps d'une révolution complète.

L'arrêt durera 3/16 alors que la couche soulevée sera arrivée au maximum de hauteur, et pendant *ce repos du liquide*, les fragments soulevés, abandonnés à leurs propres actions, auront le temps de se classer *presque complétement*.

L'ascension du piston ou descente du liquide se produira ensuite pendant le 8/16 restant, et *le classement s'achèvera*.

La montée de l'eau durera		5/16	sensiblement.
L'arrêt	—	3/16	—
Et la descente	—	8/16	—

chiffres sensiblement concordant avec ceux 1/3 — 1/5 — 7/15 posés plus haut.

Extraction du charbon. — Quand le classement est produit et que la houille pure a été amenée à la surface où elle forme une zone d'une certaine épaisseur, alors en repos au niveau le plus bas, une petite raclette ou extracteur articulé *g*, guidé par les deux directrices *h* et commandé à l'aide des pièces *i* et *j* par l'excentrique *l* calé sur l'arbre moteur, agit pour enlever cette couche de charbon épuré.

A chaque tour de manivelle, la raclette s'enfonce dans la couche superficielle au moment où le piston est au point le plus élevé de sa course, elle écrème cette couche plus ou moins profondément, suivant la nature plus ou moins riche des matières brutes à traiter; en entraînant avec elle vers la sortie le charbon pur, elle le force à remonter le plan incliné qui termine le haut de la cuve de lavage et le jette hors de l'appareil.

Pendant que la raclette opère cet enlèvement, le piston reprend sa descente, c'est-à-dire que les matières déposées sur la grille commencent à être soulevées de nouveau ; mais néanmoins il ne peut pas y avoir enlèvement des schistes par la raclette, car dès que celle-ci a gagné le bas du plan incliné, elle forme elle-même obturateur, présentant ainsi un obstacle au mélange des matières qu'elle entraîne avec celles qui sont actuellement en mouvement sur la grille.

Le charbon pur une fois évacué, la raclette sortie de la masse revient en arrière pour redescendre et saisir une nouvelle couche de combustible épuré, et ainsi de suite à chaque révolution.

Extraction des schistes. — Dans les zones inférieures, les schistes se réunissent sur la grille du côté où elle plonge le plus, immédiatement au-dessous du plan incliné qui sert à enlever les matières riches.

A ce niveau, et suivant toute la largeur de la grille, se trouve une ouverture pratiquée dans la paroi du devant de la cuve de lavage; à l'aide d'un clapet *q*, jouant de l'extérieur à l'intérieur, elle peut être plus ou moins ouverte, pour laisser aux schistes un chemin de départ proportionné à leur abondance.

Lors de la mise en train, le clapet est tenu fermé, jusqu'à ce que la couche de schiste soit devenue suffisamment épaisse; à ce moment on l'ouvre à l'aide d'un levier, et, une fois réglé, il reste dans cette position pendant tout le temps que s'accomplira le travail, et les schistes pourront être évacués librement par le passage sans avoir à *franchir aucun barrage;* glissant sur le fond incliné de leur réservoir, ils en gagneront la partie la plus basse vers l'un des côtés de l'appareil en S pour en être extraits et jetés hors, par l'intermédiaire d'une chaîne à godets.

Extraction des boues, moures ou schlamms. — Les matières fines qui passent sous grille tombent sur le fond incliné de la cuve de lavage, et, de même que les schistes, se rendent dans un compartiment à elles réservé symétriquement placé du côté opposé à celui des schistes. Elles en sont expulsées par un moyen analogue.

Dans l'un et l'autre cas, on voit donc que la vidange se produit d'une

manière continue, sans interruption du travail, sans main-d'œuvre, sans dépense d'eau et avec suppression complète de tout vannage.

En suivant maintenant la marche du travail, on peut juger de sa grande simplicité.

Les matières versées dans la trémie P, placée vers le côté opposé à la sortie et le long de la cuve à piston, se répandent sur la grille à chaque coup du piston; à chaque pulsation aussi, elles glissent sur la grille inclinée, cheminant progressivement vers la sortie, les unes en gagnant les régions basses, les autres dans les régions superficielles, et comme dans tous les lavoirs connus, le chemin à parcourir, c'est-à-dire la largeur de la grille, doit être telle que le classement ait le temps de se produire.

L'eau est amenée dans l'appareil, soit dans la cuve à piston, soit immédiatement au-dessous de la trémie ou en tout autre point qu'il plaira ou qui semblera plus convenable; un trop plein X est réservé pour épancher l'excès d'eau.

Le lavoir construit par MM. Detombay et Scheuren, pour l'usine du Val-Benoît, est en tôle.

Depuis juillet 1864 cet appareil fonctionne régulièrement. Il donne 30 coups par minute; par chaque coup de piston on introduit 3 litres d'eau. Ce liquide peut être repris et resservir à nouveau dans le cas où on serait à court d'eau. La puissance motrice nécessaire à la mise en action est de 2 1/2 à 3 chevaux.

Le charbon brut livré au lavage est passé à la claie pour être débarrassé de tous les morceaux plus gros que 0,035 et des fins au-dessous de 0,008; à l'incinération, il indique 12 °/₀ de cendres.

En onze heures de travail, on produit de 70 à 75 tonnes de charbon épuré, dont la teneur en cendres n'est plus que de 3,20 °/₀ à 2,20 °/₀.

La raclette agit à 0,25 du seuil, et à chaque coup de piston elle enlève une couche de charbon de $1^{m},40 \times 0,25 \times 0,12$; ce dernier chiffre (0,12) représentant la quantité dont la raclette s'enfonce dans la matière.

Les schlamms ou moures aspirés sous la grille représentent environ 3 °/₀ des matières brutes livrées, et, comme d'ordinaire leur teneur est de 65 °/₀ en matières nuisibles, pyrites et schistes pulvérulents, et de 35 °/₀ en charbon, la perte due au lavage est donc en résumé de 1 °/₀ en charbon.

Tous ces chiffres sont relevés sur les registres de fabrication de l'usine.

Une remarque importante à signaler, c'est que, pendant le courant du mois d'août 1864, on a dû, pour la modifier, supprimer temporairement la raclette; pendant cette opération, le lavoir marchait *en déversoir*, et on a pu alors se convaincre de l'action importante de la raclette : car tout d'un coup la teneur en cendres s'est élevée de 2 1/2 à 8 et 9 °/₀, sans qu'on ait jamais pu, par quelques soins qu'on y mît, obtenir un enrichissement plus complet; mais alors, comme compensation, il était devenu possible

d'augmenter le rendement en de très-larges proportions, sans nuire davantage à la qualité du charbon.

Cette expérience a fait voir très-clairement le rapport qui existe entre la pureté des charbons obtenus par l'écrémage de la raclette ou par le déversoir.

Quant au degré de pureté à obtenir dans chaque cas particulier, il se trouve déterminé par la nature même du charbon à traiter.

En résumé, les avantages réalisés par la raclette de MM. Detombay et Scheuren sont :

Une économie d'eau considérable, surtout si l'on veut faire servir plusieurs fois le même liquide ;

Une grande économie dans la main-d'œuvre en même temps que sécurité pour la bonne conduite des opérations, par la suppression de toutes les vannes et des manœuvres qui en résultent ; un seul gamin ou une fille pouvant suffire à la surveillance de plusieurs appareils, sans que cette surveillance plus ou moins attentive puisse influencer le résultat à obtenir.

Mais ce qui appelle surtout l'attention, c'est la richesse relative très-remarquable des charbons obtenus, aucun appareil n'ayant pu, jusqu'à ce jour, réaliser économiquement un enrichissement aussi complet.

Le laveur du Val-Benoît, tel que nous venons de le décrire, a subi, depuis son introduction en France, des modifications de construction qui, en conservant dans toute leur intégrité les principes posés par MM. Detombay et Scheuren, ont néanmoins simplifié l'ensemble de l'appareil.

Les figures 7, 8, 9 et 10 (Pl. 48), représentent le type qui se construit dans les ateliers de MM. Parent, Schaken, Caillet et Ce, et dont nous avons, en collaboration avec M. Ling, dirigé les études.

L'inspection de ces tracés suffira pour faire comprendre les avantages qui résultent du nouvel arrangement.

La cuve en fonte et d'un moulage facile porte tout le système de transmission. Dans cet appareil, pas un seul point d'attache qui soit pris au dehors. De cette façon, la machine constitue un tout stable et facilement portatif.

Le mouvement différentiel du piston y est obtenu au moyen d'un calage convenable de la coulisse de Fairbairn, qui satisfait à toutes les données du problème, aussi bien que l'artifice employé par MM. Detombay et Scheuren. Le piston en fonte est actionné par les deux leviers A A', et pendant toute sa course il est maintenu dans la verticale par les deux guides B B' venus de fonte avec les flasques.

La raclette est mue par l'excentrique C, calé sur l'arbre moteur et relié avec le levier D. Les directrices de la raclette sont également venues de fonte avec les flasques de la cuve.

Enfin, les élévateurs pour la vidange des schistes et des boues sont

mis en mouvement par l'arbre intermédiaire E, commandé par l'arbre moteur à l'aide des deux roues F et F', reliées par une chaîne galle.

L'élévateur des boues est une chaîne à godets ordinaire, tandis que l'extraction des schistes est obtenue par un élévateur particulier de notre système.

Une pompe G, fixée aux flancs de l'appareil, sert à introduire le liquide; elle est directement commandée par l'arbre moteur.

Au moyen des quatre pieds H, H, H, H. le lavoir peut être fixé sur le sol de l'atelier, en quelque point que ce soit, sans avoir à emprunter d'autres points d'appui.

En résumé, par leur système MM. Detombay et Scheuren ont voulu reproduire mécaniquement les mouvements depuis longtemps reconnus comme les plus favorables à un bon classement, savoir :

Une levée assez rapide des matières déposées sur grille, capable de déterminer leur soulèvement complet et de favoriser l'isolement des parcelles, de manière à leur permettre d'obéir plus librement aux lois de la pesanteur en les dégageant autant que possible des actions réciproques.

Le soulèvement complet obtenu, laisser le liquide immobile pendant un certain temps, afin de permettre aux fragments de se classer d'abord librement par leur chute naturelle sans que l'eau descendante puisse accélérer leur mouvement; puis faire intervenir ensuite ce mouvement descendant du liquide d'abord lentement, puis de plus en plus vivement, à mesure que cette accélération de mouvement présente moins d'inconvénients ou même qu'elle intervient utilement.

C'est le mode de mouvement appliqué avec succès aux bacs raclés à la main, mais qui perd une grande partie de ses avantages dans les lavoirs où la sortie se fait par déversoir; mais MM. Detombay et Scheuren ont su éviter ces inconvénients du déversoir en le supprimant pour faire agir avec leur raclette qui opère l'extraction seulement au moment de la descente de l'eau, c'est-à-dire lorsque les morceaux lourds mélangés au charbon ont eu le temps de se séparer de la couche supérieure dès lors enrichie.

Pour l'épuration de la houille, il est aujourd'hui certain que ce lavoir est appelé à rendre de grands services avec d'autant plus de raison que son prix le rend facilement abordable aux exploitations les plus modestes.

Quant à nous, nous pensons pouvoir en tirer un autre parti; modifié convenablement, il est devenu susceptible d'applications très-avantageuses dans les laveries destinées au traitement des minerais métalliques, pour le lavage des escarbilles, des résidus de fonderies, etc., etc.

APPLICATION DES CRIBLES AU LAVAGE DES ESCARBILLES ET AU LAVAGE DES RÉSIDUS DES FONDERIES POUR MOULAGE.

Dans toutes les nombreuses industries qui consomment sur grilles de grandes quantités de combustible, il y a toujours une production d'escarbilles qui traversant les barreaux du foyer échappent à la combustion et tombent dans le cendrier avec les cendres et le machefer. Plus l'établissement est important, plus cette cause de perte est sensible et appelle l'attention.

Ainsi, les forges dans les fours à puddler ou à réchauffer, les établissements métallurgiques pour cuivre, plomb ou zinc dans les fours de grillage de réduction ou d'affinage, etc., etc., les grandes fabriques de produits chimiques, les chemins de fer, voire même les grands navires à vapeur... et tant d'autres qu'il est inutile d'énumérer, produisent journellement des quantités considérables de ces matières qui sont une fraction notable de la totalité du combustible employé et représentent, par conséquent, une valeur qu'il est nécessaire de recueillir le mieux possible.

L'importance de ces déchets a toujours été comprise; aussi, dans tous les établissements petits ou grands, fait-on avec plus ou moins de soin le triage de ces résidus des foyers, en vue d'en extraire les escarbilles qui généralement sont consacrées dans l'établissement même qui les produit à des emplois secondaires ou bien sont vendues aux ouvriers ou aux populations environnantes pour les usages domestiques.

Mais ce triage exécuté à la main ne peut être d'abord que très-lent, et ensuite la cherté de la main-d'œuvre forçant à ne récolter que les gros morceaux, il en résulte qu'il est éminemment imparfait et que les matières rejetées retiennent encore la majeure partie du combustible utilisable.

Pour remédier à ces inconvénients, quelques établissements ont eu recours aux cribles en usage dans les ateliers de préparation mécanique des minerais. Les cribles à soupapes, tels que nous les avons décrits dernièrement[1], ont été appliqués à ce travail avec un plein succès.

Un crible continu de 500 millimètres peut, dans une journée de travail, passer environ 75 hectolitres d'escarbilles dont le poids est de 50 kil., et il permet de recueillir toutes les matières charbonneuses dont la section n'est pas au-dessous de 3 ou 2 millimètres, et ce avec l'emploi d'un seul gamin ou d'une femme.

Le crible doit être accompagné d'un trommel qui sert à diviser les ma-

1. *Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils*. 18e année, 2e série. 1er cahier, 1865.

tières en un certain nombre de classes, trois ou quatre, pour rendre plus efficace et plus rapide le lavage au crible; ces classes, bien entendu, étant lavées à part l'une après l'autre.

Dans un établissement où la production des résidus serait assez importante pour exiger l'emploi de plusieurs cribles, il y aurait une très-grande économie à disposer les cribles immédiatement sous le trommel, lequel directement et sans main-d'œuvre alimenterait les cribles.

Les fig. 13 et 14 (Pl. 49) représentent cette disposition.

Les matières brutes sont livrées au trommel A. Chaque classe produite tombe dans le crible B qui lui est destiné, et le surveillant n'a autre chose à faire qu'à lever de temps en temps ses soupapes, soit pour livrer passage aux matières inutiles restées sur grille, soit pour vider la cuve des boues qui ont traversé la grille; quant aux produits charbonneux, ils s'épanchent continuellement par le conduit C. Une seule femme suffit à ce travail.

Dans les fonderies pour moulage et particulièrement dans les fonderies de cuivre, les cribles peuvent être d'un secours inappréciable pour le traitement de tous les résidus qui s'y produisent, comme sables, cendres des fourneaux, crasses et débris de pots.

Un petit broyeur à cylindres pour le concassage des pots, un trommel et un crible : avec un tel outillage le lavage se ferait d'une manière complète, très-rapidement et surtout avec une économie remarquable.

Convaincus des services que les cribles continus sont aptes à rendre à diverses industries, connaissant par l'usage tous les inconvénients qui sont inhérents au système des cribles à soupapes, mais ayant reconnu dans le lavoir à raclette de MM. Detombay et Scheuren des éléments capables d'apporter de grandes améliorations dans ce système de cribles continus, nous nous sommes proposé de les réaliser en établissant un crible à raclette destiné au travail des minerais, des escarbilles, etc.

Les fig. 11 et 12 (Pl. 49), représentent la disposition que nous avons adoptée.

La cuve, divisée en deux compartiments, est analogue comme forme à celle des cribles continus à soupapes.

Dans l'un de ces compartiments se meut le piston, dans l'autre se trouve la grille de lavage.

Un robinet A sert à régler l'introduction du liquide. Une soupape B, qui peut à volonté être ouverte à l'aide d'une tige C du levier D, permet de vidanger les fins qui, après avoir traversé la grille, s'accumulent au fond de la cuve; enfin un trou d'homme E est ménagé dans l'un des côtés pour faciliter le nettoyage complet de l'appareil; le compartiment d'avant est terminé par un plan incliné Z.

Le crible reçoit le mouvement par un arbre F placé à l'arrière, lequel porte une manivelle G, qui se meut dans la coulisse H. Cette coulisse, calée suivant un angle convenable sur l'arbre I qui commande le piston, lui imprime un mouvement alternatif différentiel de rotation tel, que le

piston satisfait à toutes les conditions démontrées les plus favorables pour une séparation rapide et aussi complète que possible.

Le piston est creux et en fonte; il est relié à l'arbre I par le levier J, disposé de telle sorte que la tête de la tige du piston puisse à volonté s'éloigner ou se rapprocher du point de rotation, afin de faire varier la course suivant les besoins. Enfin la tige du piston elle-même K peut s'allonger ou se raccourcir, pour permettre de fixer la position dans laquelle doit s'accomplir le jeu du piston, lequel se meut toujours bien verticalement par suite de l'action des guides L L.

Un excentrique M, calé sur l'arbre F, actionne l'arbre N, qui, à l'aide des leviers O O, donne le mouvement à la raclette P, qui est guidée dans sa course de va-et-vient par les directrices Q, venues de fonte avec les flasques du crible. Ainsi la raclette, actuellement à son point le plus bas, va remonter vers le haut de la génératrice en R; là elle soulèvera la pièce S, articulée en T; elle reviendra en arrière en reposant alors sur la pièce S, pour retomber en U à sa position initiale, et ainsi de suite, à chaque tour de l'arbre I.

En V se trouve une vanne étanche qui peut s'ouvrir plus ou moins en manœuvrant le levier X. Cette vanne, qui règne sur toute la largeur de l'appareil, permet aux matières de s'épancher dans la gouttière inclinée Y, placée au-dessous du plan incliné Z.

Avant de mettre l'appareil en mouvement, on doit naturellement déterminer, relativement aux matières à traiter, la position du piston, fixer l'amplitude de son jeu, et régler la quantité d'eau à introduire.

Alors il pourra être mis en jeu. Les matières livrées par la trémie se classeront sur la grille, et dès qu'elles auront atteint une hauteur suffisante, la raclette pourra saisir celles qui seront à la surface et les entraînera dans son mouvement sur le plan incliné Z, qui les rejette hors de l'appareil. Quant aux parties lourdes qui auront gagné le fond pour reposer sur la grille, elles pourront être évacuées, soit d'une manière intermittente en ouvrant de temps en temps la vanne V, soit d'une manière continue, si leur nature le permet, en laissant cette vanne convenablement ouverte.

Une ou plusieurs fois par jour, suivant les besoins, la soupape B sera ouverte pour vider la cuve des boues qui auront traversé la grille de lavage.

NOTE

SUR UN

RACCORDEMENT RATIONNEL DES VOIES COURBES AVEC LES VOIES DROITES. (CHEMINS DE FER.)

PAR M. CHAVÈS.

Lorsque, dans l'établissement des voies de fer, il se rencontre deux alignements droits se croisant sous un certain angle, on les raccorde d'habitude, par un arc de cercle tangent aux deux alignements, et de rayon déterminé par des considérations étrangères à notre sujet.

Mais il se présente alors les difficultés suivantes : la voie en courbe donnera naissance, dès son origine, à une force centrifuge x qui, se combinant avec le poids P transmis par les roues, donnera lieu à une résultante R plus ou moins inclinée par rapport à la verticale. Pour que cette résultante de pression soit normale au plan sur lequel elle s'exerce, il est nécessaire que ce plan, qui est celui de la voie, s'incline vers le centre de courbure d'une quantité z, (fig. 1, Pl. 49), dite « *surhaussement*, » et qui se trouve *complétement* déterminée par le rayon de courbure de la voie et la vitesse de marche des trains. Ce surhaussement a en effet pour expression :

$$z = \frac{1{,}50\ V^2}{9{,}8\ R}; \qquad [1]$$

or, lorsque l'alignement est droit, c'est-à-dire de rayon infini, le surhaussement doit être nul; par conséquent, au point de tangence de l'alignement droit avec l'arc de cercle de rayon R, le surhaussement devrait naître brusquement, tout entier (égal à z), ce qui est impossible, et pourtant nécessaire, pour que la résultante de la force centrifuge et de la pesanteur soit normale au plan de la voie, — telle est la difficulté.

Jusqu'à présent, l'usage était de racheter les surhaussements à l'aide de plans inclinés que l'on plaçait soit avant le point de tangence, soit après, soit à cheval sur ce point.

Mais le choix entre ces diverses solutions ne peut porter que sur le plus ou moins d'inconvénients de chacune d'elles, puisque toutes con-

duisent soit à donner du surhaussement à un alignement droit, soit à n'en pas donner suffisamment à une voie courbe, ce qui dans les deux cas place le train en mouvement dans une position inclinée par rapport au plan des voies, circonstance évidemment nuisible soit pour la stabilité du train en mouvement, soit pour la conservation des parties en contact des rails et des roues.

On s'est alors demandé s'il ne serait pas possible, sans complication sérieuse dans la pose des voies, de placer ce plan incliné sur une courbe auxiliaire de raccordement dont les rayons de courbure successifs, variant depuis le rayon infini de la ligne droite jusqu'à celui de la voie circulaire, présenteraient en chaque point du tracé la courbure qui convient au dévers transversal de la voie, en ce même point du plan incliné.

C'est l'étude de cette question et des solutions qu'elle comporte qui fait l'objet de la présente note.

Ce travail comprend trois parties : dans la première, nous cherchons les moyens qui peuvent être employés pour le calcul de la courbe de raccordement rationnel; dans la seconde partie, nous cherchons un moyen facile d'introduire cette courbe dans la pose des voies; et dans la troisième partie enfin nous donnons des applications numériques du raccordement rationnel dans des conditions déterminées.

PREMIÈRE PARTIE.

CALCUL DE LA COURBE DE RACCORDEMENT RATIONNEL.

Le problème à résoudre est celui-ci :

Trouver une courbe dont chaque point présente un rayon de courbure ayant la relation [1] avec le surhaussement en ce même point.

Ce surhaussement, d'ailleurs, croissant d'une manière régulière, continue et déterminée à l'avance, avec le développement de la courbe, à partir de son origine.—Le calcul de cette courbe peut être fait des deux façons suivantes :

Première méthode de calcul.

Cette méthode est une application de l'expression du rayon de courbure d'une pièce *légèrement infléchie;* l'on suppose fig. 2 (Pl. 49) :

1° Que la longueur d'une portion de la courbe ds pourra, sans erreur sensible, être remplacée par sa projection dx sur l'axe des x;

Et 2° Que les tangentes à la courbe ne feront avec le même axe des x que des angles assez petits pour qu'on puisse prendre indifféremment pour leur mesure soit l'arc, soit la tangente trigonométrique.

Cela posé, on considère un élément infiniment petit mm' de la courbe, on mène les tangentes en ces points, et comme l'angle au centre est égal

à l'angle $d\alpha$ que les tangentes font entre elles, on obtient les relations suivantes :

$$d\alpha : 1 :: ds : \varsigma, \qquad \text{d'où } \varsigma = \frac{ds}{d\alpha}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dy}{dx} = f'(x)$$

donc $$d.\operatorname{tg}\alpha = f''(x)dx = d\alpha \text{ (par hypothèse),}$$

donc $\varsigma = \dfrac{ds}{f''(x)\,dx} = \dfrac{1}{f''(x)}$ [a], ds étant égal à dx, par hypothèse.

Telles sont l'expression du rayon de courbure d'une pièce légèrement infléchie, et la démonstration directe qu'en donne M. Belanger dans son ouvrage sur la résistance et la flexion plane des solides.

Pour appliquer cette relation au calcul de la courbe que nous cherchons, il suffit de remarquer que ς doit avoir la relation (1) avec le surhaussement z; que ce surhaussement lui-même peut s'exprimer en fonction d'un accroissement constant par mètre p (que l'on se donne), et du développement de la courbe depuis son origine; et enfin que, dans les hypothèses de la relation [a], ds étant égal à dx, on pourra exprimer le surhaussement par la fonction px; x étant pris indifféremment soit pour le développement de la courbe, soit pour sa projection sur l'alignement tangent. On aura donc les équations suivantes :

$$[a] \quad \varsigma = \frac{1}{f''(x)} \qquad z = \frac{1{,}50\ V^2}{9{,}8.\varsigma}\ [1], \qquad \text{et } z = px \qquad [2]$$

dont on tirera

$$f'(x) = \frac{9{,}8\,p}{1{,}50\ V^2}\,x, \quad \text{ou } f''(x)dx = \frac{9{,}8}{1{,}50\ V^2}\,xdx$$

intégrant; multipliant encore par dx, et intégrant à nouveau, en remarquant que les constantes sont nulles, on obtiendra l'équation

$$f(x) \text{ ou } y = \frac{p}{6 \cdot \dfrac{1{,}50\ V^2}{9{,}8}} \cdot x^3 \qquad [3]$$

équation de la forme $y = Kx^3$, pourvu que le facteur fonction du surhaussement par mètre p et de la vitesse V soit constant.

Cette relation est très-simple; mais il ne faut pas oublier qu'elle repose sur des hypothèses dont la réalisation n'est pas certaine *à priori*, surtout pour les cas de raccordement avec des cercles de petits rayons.

C'est cette incertitude sur le degré d'approximation qu'on peut attendre de l'équation qui nous a fait chercher une autre méthode qui ne présentât pas ces restrictions.

Deuxième méthode.

Cette méthode consiste à considérer la courbe rationnelle comme un

polygone composé de côtés égaux et relativement très-petits, ce qui est d'ailleurs dans la réalité des faits, et à supposer en outre que chacun des côtés est la corde d'un arc décrit avec le rayon de courbure qui convient au surhaussement moyen du côté, suivant les relations (1) et (2).

Nous ne prenons pas pour rayon de cet arc la moyenne des rayons de courbure qui conviendraient aux deux extrémités du côté, par la raison que pour le premier côté cette moyenne serait infinie comme le rayon de courbure qui correspond à l'origine de la courbe où le surhaussement est nul.

Dans nos calculs, nous nous contentons de prendre pour côté du polygone la longueur d'un rail, ce qui revient à attribuer au rail entier la courbure qui rigoureusement ne conviendrait qu'à son milieu; mais il serait sans objet pour la pratique de vouloir déterminer les positions de plus de deux points d'un même rail; d'ailleurs, la solution pratique du problème ne comporte pas une extrême rigueur, car l'élément principal du calcul, la vitesse supposée du train, qui entre par sa deuxième puissance dans les formules, est fort loin en réalité de présenter une précision mathématique.

Nous allons maintenant donner le calcul du polygone :

1° *Côtés du polygone. — Longueur et courbure.*

Par hypothèse, les côtés (fig. 3)

$$AB = BC = CD = DE = \ldots = L \text{ longueur d'un rail,}$$

le surhaussement moyen d'un côté DC

$$\text{est : } = p\left(AB + BC + \frac{CD}{2}\right) = z'',$$

et le rayon de courbure correspondant

$$= R'' = \frac{1{,}50\ V^2}{9{,}8 . z''} \quad [p \text{ et } V \text{ font partie des données de la question}].$$

2° *Angles intérieurs à la base* (α).

Pour un côté quelconque DE, on a :

(fig. 4) $$\operatorname{tg} \alpha''' = \frac{m}{n} \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} \alpha''' = \frac{2R''' - n}{m},$$

d'où $$m^2 + n^2 = 2R'''n ;$$

on a de plus

$$m^2 + n^2 = L^2, \quad \text{donc } n = \frac{L^2}{2R'''};$$

on a encore

$$L \cos \alpha''' = n, \text{ d'où enfin } \cos \alpha''' = \frac{L}{2R'''}. \qquad [5]$$

3° Angles ω des côtés avec l'axe AX.

On a pour un ω''' quelconque : (fig. 3)

$$\begin{aligned}\omega''' &= \omega'' + (90^\circ - \alpha'') + (90^\circ - \alpha''') \\ \omega'' &= \omega' + (90^\circ - \alpha') + (90^\circ - \alpha'') \\ \omega' &= \omega + (90^\circ - \alpha) + (90^\circ - \alpha') \\ \omega &= 90^\circ - \alpha.\end{aligned} \qquad [6]$$

4° Calcul des ordonnées des sommets.

On a pour la première

$$y = \mathrm{L} \sin \omega, \qquad [7]$$

pour la deuxième

$$y' = y + \Delta y' = y + \mathrm{L} \sin \omega',$$

pour la troisième

$$y'' = y' + \Delta y'' = y' + \mathrm{L} \sin \omega'', \text{ et ainsi de suite.}$$

5° Calcul des abscisses.

$$x = \mathrm{L} \cos \omega \qquad [8]$$

$$x' = x + \Delta x' = x + \mathrm{L} \cos \omega', \text{ et ainsi de suite.}$$

Le polygone se trouve ainsi construit, et ses éléments reliés entre eux, et avec l'alignement droit tangent.

DEUXIÈME PARTIE.

USAGE DE LA COURBE DE RACCORDEMENT RATTONNEL.

Pour introduire la courbe que nous venons de calculer dans la pose de la voie circulaire, deux méthodes peuvent être suivies.

La première est plus exacte que la seconde, mais cette dernière est plus facile à exécuter, et de plus pourrait seule être appliquée au cas d'une pose de voie existante, sous peine d'avoir à modifier la voie circulaire dans tout son développement.

Première méthode.

Elle a pour but d'établir un raccordement parfait entre les deux courbes, et cela en recherchant pour les raccorder le point où elles ont une tangente commune.

Dans ce cas, l'arc de cercle a pour tangentes, non plus les alignements droits SA, S'A' (fig. 5, Pl. 49), mais deux parallèles TB T'B', à ces alignements; il se raccorde avec la courbe rationnelle en m, m', points où la

tangente à l'arc fait avec l'alignement SA ou sa parallèle TB le même angle que la tangente à la courbe fait avec le même alignement SA.

Les lignes SA, TB sont distantes d'une quantité $y - y'$, qui est la différence entre l'ordonnée de la courbe et celle du cercle au même point m (fig. 6), la courbe étant rapportée à l'alignement SA et le cercle à la parallèle TB.

L'ordonnée y' du cercle se calcule par les relations suivantes :

$$\text{Tg}\,\omega = \frac{x'}{R' - y'} \text{ et } x'^2 = 2R'y, - y'^2.$$

Équations dans lesquelles ω est connu par l'épure de la courbe rationnelle, et d'où l'on tirera par conséquent x' et y'. — Remarquons que rapporter le cercle à sa tangente TB revient à le construire par rapport à l'alignement SA, en augmentant toutes les ordonnées de la distance constante $y - y'$ qui existe entre les deux parallèles; ce qui conduirait, dans les tables toutes calculées que l'on possède habituellement, à faire une correction constante à toutes les ordonnées du cercle.

Dans l'hypothèse des applications de la troisième partie de ce travail, la différence $(y - y')$ aurait les valeurs suivantes :

VALEUR DU RAYON R'	2000m	1500	1200	1000	900	800	700	600	500	400	300
Valeur de $y - y'$.	0m,009	0,018	0,033	0,057	0,062	0,073	0,038	0,065	0,056	0,188	0,150

Deuxième méthode.

Elle a pour but d'éviter toute modification à la courbe circulaire, au delà du point de raccordement.

A cet effet, l'alignement droit est conservé comme tangente commune aux deux courbes, et le raccordement de ces dernières s'effectue en les plaçant bout à bout, au point de la courbe rationnelle qui correspond au rayon du cercle à raccorder.

Ce procédé est des plus simples, comme on le voit, mais il reste à examiner si les courbes ainsi soudées ne feront pas entre elles un jarret que la pratique ne puisse admettre.

Nous ferons abstraction des formes quelconques que les poseurs peuvent avoir l'habitude de donner aux voies courbes, à l'aide de manœuvres grossières et répétées, dont le but est de faire participer le rail lui-même à la courbure générale.

D'autant plus que, si ces procédés donnent de bons résultats, ils devront *à fortiori* être appliqués aux courbes de raccordement rationnel.

Sous cette réserve, nous ferons remarquer que dans la pose circulaire

ordinaire les rails forment un polygone dont les côtés, supposés de 6 mètres de longueur, font entre eux les angles extérieurs suivants :

Pour R = 300^m	γ = 1°.8′.46″
= 600	= 34′.23″
= 800	= 25′.48″
= 1000	= 20′.36″

Cherchons maintenant, par quelques exemples pris dans les applications de la troisième partie de ce travail, à déterminer l'importance du jarret de la courbe rationnelle au point de jonction avec le cercle.

Les trois cas suivants sont à peu près les plus défavorables que puissent présenter les hypothèses admises dans les applications.

Premier cas. — Courbes de 1000 mètres de rayon, avec vitesse du train de 80 kilomètres à l'heure (Pl. 50).

Les tangentes aux deux courbes, menées au point de raccordement, font entre elles un angle de 8′ et 1/2, qui s'ajouterait à l'angle ordinaire de 20′.36″, et le porterait à 29′.

Mais remarquons immédiatement que l'angle précédent de la courbe rationnelle n'est que de 17′, et l'antéprécédent de 14′ seulement; de sorte qu'en diminuant un peu l'ordonnée du sommet qui précède le point de soudure, ce sommet et le point de soudure n'auront pas d'angles extérieurs sensiblement supérieurs à ceux du polygone circulaire de 1000 mètres.

Le coup de pouce à donner n'est d'ailleurs que de 0^m,015.

Deuxième cas. — Courbe de 600 mètres; vitesse de 60 kil. à l'heure.

Les deux tangentes au point de soudure font entre elles un angle de 12′.30″ qui, s'ajoutant à l'angle normal de 34′.23″, donnerait 46′.53″. Mais il suffit de repousser de 15 à 20 millimètres les deux sommets précédents pour ramener ces angles aux conditions de la pose normale.

Troisième cas. — Courbe de 300 mètres; vitesse de 50 kilomètres.

Les deux tangentes au point de soudure font entre elles un angle de 20′, qui serait à ajouter à l'angle normal de 1°.8′.46″; mais il suffit de diminuer de 20 à 30 millimètres les ordonnées de chacun des deux sommets précédents pour ramener les deux derniers de ces angles à ne pas différer sensiblement de ceux de la pose normale.

En résumé, ces trois exemples, pris dans les cas les plus défavorables, montrent que, moyennant *les coups de pouce* ou régularisations que les chefs poseurs sont dans l'habitude de donner à la pose, le point de jonction pourra, même dans les cas les plus défavorables, ne pas présenter dans ce second procédé de jarret plus sensible que ceux qui existent

inévitablement dans la pose ordinaire des courbes circulaires de même rayon.

Ce procédé donne donc une approximation amplement suffisante pour la pratique, en même temps qu'il est d'une exécution excessivement simple et facile.

Situation de la courbe rationnelle. — Pour compléter ce que nous venons de dire sur la manière de faire usage de la courbe rationnelle, il nous reste à déterminer le point de départ de cette courbe sur l'alignement droit.

Les données ordinaires de l'exécution sont la position de l'alignement droit, et celle du point de tangence du cercle sur cet alignement.

Il faut donc calculer la position de l'origine de la courbe rationnelle par rapport à celle du cercle remplacé, c'est-à-dire la différence entre x' et x, (fig. 7).

Or, on a dans le cercle M C Ó

$$x'^2 = 2Ry - y^2 \qquad [9]$$

d'où l'on tire la valeur de x', et comme x, longueur du plan incliné, est connue, on en déduit la valeur $x' - x$ cherchée.

Mais une remarque qu'il peut être très-utile de faire, soit pour éviter ces calculs, soit pour les contrôler, c'est que le rapport $\frac{x'}{x}$ est à très-peu près constant.

C'est ce qui résulte des équations suivantes :

les équations (1) et (2), qui donnent

$$R = \frac{1{,}50\ V^2}{9{,}8\ px},$$

et l'équation (3), mise sous la forme :

$$y = \frac{px}{\frac{9\ V^2}{9{,}8}} \cdot x^2,$$

d'où l'on tire en les combinant avec [9] :

$$\frac{x'}{x} = \sqrt{\frac{1}{3} - \frac{9{,}8}{9\ V^2}\ px};$$

mais le terme $\frac{9{,}8\ px}{9\ V^2}$ est très-petit relativement à 1/3; il est seulement de $\frac{1}{6000^{m}}$ pour la courbe de 1000 mètres de rayon prise pour exemple;

il peut par conséquent être négligé, et on pourra poser très-approximativement :

$$\frac{x'}{x} = 0{,}5773, \qquad [10]$$

le degré d'approximation de cette relation ne dépendant, à fort peu près, que de la réalisation des hypothèses sur lesquelles l'équation (3) est fondée.

Nous avons déjà dit qu'on ne pouvait pas compter *à priori* sur la réalisation absolue de ces hypothèses ; mais nous ajouterons que cependant cette équation donne des résultats suffisamment rapprochés de ceux de la méthode polygonale, pour qu'on puisse considérer le rapport $\frac{x'}{x} = 0{,}577$ comme très-approximativement exact, et le faire servir utilement, tout au moins à la vérification du calcul direct de x'.

C'est d'ailleurs ce qui résulte des applications numériques qui font l'objet de la troisième partie de ce travail, et auxquelles nous passerons immédiatement.

TROISIÈME PARTIE.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES.

Détermination des éléments principaux, et observations.

Les éléments principaux à fixer sont les suivants :

1° *Vitesse des trains.*

La vitesse de parcours des trains ne peut être supposée la même sur les courbes de tous rayons.

On admet qu'elle doit diminuer à partir de certains rayons, et on établit des gradations analogues à la suivante, que nous avons adoptée dans nos calculs.

Vitesse maxima de 80 kilomètres à l'heure, sur rayons de plus de 800 mètres :

Vitesse de 75 kilomètres, sur rayons de 800 mètres ;
— 60 — — 700 à 600 mètres ;
— 50 — — 500 à 300 —

2° *Surhaussement.— Accroissement du dévers de la voie par mètre courant.*

La vitesse et le rayon de la courbe étant connus, le surhaussement total relatif des deux rails s'en déduira par la formule

$$z = \frac{1{,}50\ V^2}{9{,}8\ R}. \qquad [11]$$

Pour racheter ce surhaussement, on peut se servir soit d'un seul plan incliné ascendant sur le rail extérieur, soit de deux plans également inclinés, l'un ascendant sur le rail extérieur, et l'autre descendant sur le rail intérieur.

Dans ce dernier cas, l'axe de la voie conserve le niveau résultant du profil en long, comme s'il se trouvait sur un alignement droit.

Dans le cas d'un seul plan incliné, l'accroissement de dévers par mètre courant de voie est égal à la rampe par mètre du plan incliné unique, et dans le cas de deux plans inclinés, cet accroissement est double de la rampe par mètre du plan ascendant.

Cet accroissement de dévers par mètre est déterminé par la condition que le surhaussement total soit produit à l'aide d'un nombre entier de rails, tout en restant dans certaines limites de pentes et rampes par mètre, que l'on se donne *à priori*. Dans nos calculs, on a admis un système de deux plans inclinés, et on s'est imposé la condition que les pentes et rampes par mètre de chacun d'eux ne soient que d'environ $0^m,001$ pour les grandes vitesses, et de moins de $0^m,0015$ pour les vitesses minima.

On a obtenu ainsi le tableau suivant :

TABLEAU A (*dont la dernière ligne sera expliquée par ce qui vient après*).

RAYONS DES COURBES A RACCORDER.	2000m	1500	1200	1000	900	800	700	600	500	400	300
Vitesse à l'heure supposée.....	kilom. 80	80	80	80	80	75	60	60	50	50	50
Dévers par mètre .	mill. 2,11	2,11	2,11	2,11	2,33	2,33	2,45	2,45	2,46	2,46	2,72
Nombre de rails du plan incliné ...	3	4	5	6	6	6	4	5	4	5	6
Numéros d'ordre des types différents de courbes de raccordement.....	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	n° 6				n° 5	n° 4	n° 3		n° 2		n° 1

3° *Des différents types de courbes de raccordement.*

L'équation approximative

$$y = \frac{p}{6\left(\frac{1{,}50\ V^2}{9{,}8}\right)} \cdot x^3$$

montre bien que le lieu géométrique qu'elle représente doit changer

chaque fois que l'une des quantités p ou V vient à n'être plus la même, ou tout au moins quand le rapport $\frac{p}{V^2}$ cesse d'être constant.

La constance de p et V est inadmissible ; et celle du rapport $\frac{p}{V^2}$ nécessiterait que le surhaussement par mètre crût avec le carré de la vitesse, ce qui serait d'abord peu rationnel, et pourrait en outre conduire à des valeurs de p soit trop grandes pour les grandes vitesses, soit trop petites pour les petites vitesses, et cela sans autre intérêt qu'une certaine simplification de calculs.

Sans aucun doute, il est préférable de conserver les conditions de pente que l'on reconnaît *à priori* devoir être les plus convenables pour l'exécution, et de se résigner à calculer les différents types de courbes de raccordement qui résultent de ces conditions.

Nous donnons ci-après le détail de ces calculs, et nous rappelons en même temps les formules qui ont servi à les établir.

Ces formules procèdent de la méthode élémentaire des triangles successifs; les résultats obtenus par cette méthode ont été vérifiés ensuite à l'aide de l'équation approximative de la courbe, et nous ajouterons que les deux résultats ne présentaient de différences que dans les millimètres.

La vérification d'ailleurs n'a eu besoin de porter que sur les coordonnées extrêmes, puisque dans la méthode polygonale les résultats de calcul sont tous fonction de tous ceux qui les précèdent.

Ces calculs sont contenus dans les six tableaux ci-joints, dont la disposition est la suivante (voir tableau n° 1) :

L'entête du tableau donne les numéros d'ordre des côtés du polygone;

La première ligne du tableau donne les surhaussements moyens correspondants à chaque côté ;

La deuxième ligne est relative aux rayons de courbure qui conviennent à ces surhaussements moyens ;

Les troisième, quatrième et cinquième lignes donnent le calcul des angles α, d'après la formule [5] qui, à cause de L = 6 mètres, devient :

$$\cos \alpha = \frac{3}{R};$$

La sixième ligne donne les angles ω par les formules [6] ;

Les septième, huitième, neuvième, dixième, onzième et douzième lignes donnent le calcul de Δy et y, suivant les formules [7];

Les lignes suivantes donnent le calcul de Δx et de x, d'après les formules du (n° 18).

Les calculs sont d'ailleurs faits au moyen des tables de logarithmes.

Ayant calculé ces six tableaux, il est facile d'en tirer les épures de pose des courbes rationnelles; on pourrait se contenter de faire six épures; mais il nous a paru plus commode pour l'usage de les diviser

en autant de figures qu'il y a de rayons de courbes à raccorder; nous avons donc fait une épure spéciale pour chacun des principaux rayons, et nous les avons réunies toutes en une seule planche, que nous joignons ici à la suite des tableaux de calcul.

4° *Déplacement du point de tangence.*

La courbe rationnelle calculée comme il vient d'être dit, il s'agit de la mettre en place, c'est-à-dire de déterminer la position de son origine sur l'alignement droit. Les épures (Pl. 49, fig. 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7) donnent à cet effet, sous la dénomination ci-dessus indiquée, la quantité dont le point de tangence de la courbe rationnelle doit précéder celui de l'arc de cercle remplacé.

Le calcul en a été fait par l'équation (9), et contrôlé par la relation approximative

$$(10)\quad \frac{x'}{x} = 0{,}577.$$

5° *Du rayon de la courbe à raccorder.*

Nous avons dit que les rayons qui servent au tracé de la courbe rationnelle sont ceux qui correspondent au surhaussement moyen des côtés. Mais le rayon de la courbe à raccorder est celui qui correspond au surhaussement de l'extrémité du côté.

Ces derniers rayons, les seuls qu'il soit utile de connaître pour l'application des courbes, sont aussi les seuls qui se trouvent inscrits sur les épures.

Nous terminerons par une observation sur l'exécution de la courbe de raccordement rationnel.

Ce qui est essentiel dans ce raccordement, c'est de déterminer aussi exactement que possible les positions des points de soudure et de tangence, et puis de raccorder ces points par une courbe de forme bien régulière et sans jarrets.

L'exactitude des ordonnées intermédiaires importe beaucoup moins, et cela par la raison que leur grandeur subit des modifications considérables pour des variations même légères dans la vitesse supposée des trains.

Ainsi, pour une variation de la vitesse de 75 à 85 kilomètres à l'heure, variation qui n'a rien d'extraordinaire dans la réalité habituelle des faits, l'ordonnée varierait dans le rapport de 1 à 1,3.

Enfin, si l'on considère, en outre, qu'il n'est pas permis de compter, en service courant, sur un maintien bien rigoureux des formes données primitivement à la voie, et que par conséquent une rigueur absolue dans la pose serait sans objet, on sera conduit, pensons-nous, à cette conclusion, que les procédés du raccordement rationnel peuvent entrer dans la construction des voies, sans apporter au travail des complications difficiles, ni même gênantes.

TYPE I.

Raccordement avec une courbe de 300 mètres. Surhaussement par mètre 0,00272. Vitesse de 50km à l'heure.

	RAILS N°s	1	2	3	4	5	6
1	Surhaussement moyen.....	0,00816	0,02448	0,04080	0,05712	0,07344	0,08981
2	Rayon moyen R.....	3609	1203	722	515	401	328
3	..... log 3.....	0,47712125					
4	..... log R.....	3,5573869	3,0802656	2,85853720	2,71180723	2,60314437	2,51587384
5	... log 3 — log R = log cos α.....	6,91973435	7,39685565	7,61858405	7,75531402	7,87397688	7,96124741
6	..... α.....	89° 57′ 9″	89° 51′26″	89° 45′ 45″	89° 40′26″	89° 34′17″	89° 28′33″
7	... $\omega = \omega' + (90° - \alpha) + (90° - \alpha')$..	2′51″	14′16″	37′ 7″	1° 10′58″	1° 56′15″	2° 53′25″
8	..... log sin ω'.....	6,9185709	7,6180474	8,0332866	8,3147497	8,5290363	8,7026327
9	..... log 6.....	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125
10	..... log 6 + log sin $\omega' = \log \Delta y$.....	7,69672215	8,39619865	8,81143785	9,09290095	9,30718755	9,48078395
11	..... Δy.....	0,004974	0,0249	0,06477	0,1238	0,2028	0,3025
12	..... $\Sigma \Delta y$ ou y.....	0,004974	0,02987	0,09464	0,21844	0,42124	0,72374
13	..... log cos ω'.....	.....	.....	9,9999512	9,9999074	9,999752	9,9994477
14	..... log 6.....	.....	.....	0,7781258	0,7781512	0,7781512	0,7781512
15	..... log 6 + log cos $\omega' = \log \Delta x$.....	.....	.....	10,7781258	10,7780586	0,779032	10,7775989
16	..... Δx.....	6m	6m	5m,9997	5,9986	5,9966	5,9923
17	..... $\Sigma \Delta x$.....	6	12	17,9997	23,9983	29,9949	35,9872

TABLEAU ANNEXE N° 2.

TYPE 2.

Raccordement avec courbes de 400 et 500 mètres. Surhaussement par mètre 0,00246. *Vitesse de* 50^{km} *à l'heure.*

	RAILS N^{os}	1	2	3	4	5
1	Surhaussement moyen.....	0,00738	0,02214	0,03690	0,05166	0,06642
2	Rayon moyen.....	3991	1330	798	570	443
3	..... log 3.....	0,47712125				
4	..... log R.....	3,6010817	3,12385164	2,90200289	2,75587486	2,64640373
5	... log cos α = log 3 — log R.....	6,87603955	7,35326961	7,57511836	7,72124639	7,83071752
6	..... α.....	89° 57′ 25″	89° 52′ 15″	89° 47′ 4″	89° 41′ 53″	89° 36′ 43″
7	... $\omega' = \omega + (90^0 - \alpha) + (90^0 - \alpha')$.....	2′ 35″	12′ 55″	33′ 36″	1° 4′ 39″	1° 46′ 3″
8	..... log sin ω'.....	6,8759065	7,5748755	7,9900585	8,2742690	8,4891679
9	..... log 6.....	0,7781512	0,7781512	0,7781512	0,7781512	0,7781512
10	..... log sin $\omega' +$ log 6 = log Δy.....	7,6540577	8,3530267	8,7682097	9,0524202	9,2673191
11	..... Δy.....	0,0045088	0,022544	0,058644	0,1128	0,1850
12	..... $\Sigma \Delta y$ ou y.....	0,0045088	0,02705	0,0857	0,1985	0,3835
13	..... log cos ω'.....	.....	.....	.....	9,9999232	9,9997935
14	..... log 6.....	.....	.....	.....	0,7781512	0,7781512
15	..... log 6 + log cos ω' = log Δx.....	.....	.....	.....	10,7780744	10,7779447
16	..... Δx.....	6^m	6^m	6^m	5,999	5,997
17	..... $\Sigma \Delta x$.....	6	12	18	23,999	29,996

TABLEAU ANNEXE N° 3.

TYPE 3.

Raccordement avec courbes de 600 *et* 700 *mètres. Surhaussement par mètre* 0,00245. *Vitesse de* 60^{km} *à l'heure.*

	RAILS N^{os}	1	2	3	4	5
1	Surhaussement moyen.	0,00735	0,02205	0,03675	0,05145	0,06615
2	Rayon moyen.	5770	1920	1150	820	640
3	..... log 3.....	0,47712125				
4	..... log R.....	3,7611758	3,2839793	3,0622058	2,9159272	2,8061799
5	....log cos α = log 3 — log R.....	6,7159453	7,1931419	7,4149154	7,5611940	7,6709413
6	..... α.....	89°58′13″	89°54′38″	89°51′ 4″	89°47′31″	89°43′53″
7	... $\omega' = \omega + (90° - \alpha) + (90° - \alpha')$.....	1′47″	8′56″	23′14″	44′39″	1°13′15″
8	..... log sin ω'.....	6,7149506	7,4147392	7,8298343	8,1135354	8,3285009
9	..... log 6.....	0,7781512	0,7781512	0,7781512	0,7781512	0,7781512
10	..... log 6 + log sin ω' = log Δy.....	7,4931018	8,1928904	8,6079855	8,8916866	9,1066521
11	..... Δy.....	0,0031125	0,01559	0,04055	0,07792	0,1278
12	..... $\Sigma \Delta y = y$.	0,003	0,0187	0,0592	0,137	0,265
13	..... log cos ω'.....	.....	.....	.....	.....	9,9996016
14	..... log 6.....	.....	.....	.....	.....	0,7781512
15	..... log 6 + log cos ω' = log Δx.....	.....	.....	.....	.....	10,7780528
16	..... Δx.....	6^m	6^m	6^m	6^m	5,9987
17	..... $\Sigma \Delta x$.....	6	12	18	24	29,9987

TABLEAU ANNEXE N° 4.

TYPE 4.

Raccordement avec courbe de 800 *mètres. Surhaussement par mètre* 0,00233. *Vitesse de* 75^{km},5 *à l'heure.*

	RAILS N^{os}	1	2	3	4	5	6
1	Surhaussement moyen	0,0069	0,0207	0,0345	0,0483	0,0621	0,0759
2	Rayon moyen R	9744	3248	1949	1392	1082	886
3	..... log 3	0,47712125					
4	..... log R	3,98873730	3,5116160	3,28981180	3,14363920	3,0342273	2,94737727
5	... log cos α	6,48838395	6,96550525	7,18730945	7,33348205	7,4329045	7,5297439
6	..... α	89° 56′ 57″	89° 56′ 50″	89° 54′ 43″	89° 52′ 35″	89° 50′ 41″	89° 48′ 22″
7	... $\omega' = \omega + (90° - \alpha) + (90° - \alpha')$	1′ 3″	5′ 16″	13′ 43″	26′ 25″	43′ 9″	1° 4′ 6″
8	..... log 6	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125
9	..... log sin ω'	7,48838395	7,18526180	7,60097350	7,88559990	8,09869550	8,270559
10	..... log Δy = log 6 + log sin ω'	7,26653520	7,96341305	8,37912475	8,66375115	8,87684675	9,04871025
11	..... Δy	0,00183473	0,009192	0,02394	0,04610	0,0753	0,1118
12	..... $\Sigma \Delta y$ ou y	0,00183473	0,011027	0,03496	0,08106	0,15636	0,26816
13	..... log cos ω'	.....	.....	.....	.....	9,9999658	9,9999243
14	..... log 6	.....	.....	.....	.....	0,7781512	0,7781512
15	... log cos ω + log 6 = log Δx	.....	.....	.....	.....	10,7781170	10,7780755
16	..... Δx	6^m	6^m	6^m	6^m	5,9995	5,999
17	..... $\Sigma \Delta x$	6	12	18	24	29,9995	35,9985

TYPE 5.

Raccordement avec une courbe de 900 *mètres. Surhaussement par mètre* 0,00233. *Vitesse de* 80^{km} *à l'heure.*

	RAILS N^{os}	1	2	3	4	5	6
1	Surhaussement relatif moyen.....	0,00699	0,02097	0,03495	0,04893	0,06291	0,07689
2	Rayon moyen R.....	10314	3505	2103	1502	1168	956
3	..... log 3.....	0,47712125					
4	..... log R.....	4,021768	3,5446880	3,32283930	3,1766699	3,0674428	2,98045789
5	... log cos α = log 3 — log R.....	6,45535325	6,9324332	7,15428195	7,30045135	7,40967845	7,49666336
6	..... α.....	89° 59′ 1″	89° 57′ 3″	89° 55′ 5″	89° 53′ 8″	89° 51′ 11″	89° 49′ 13″
7	... $\omega' = \omega + (90° - \alpha) + (90° - \alpha')$..	0′ 59″	4′ 55″	12′ 47″	24′ 34″	39′ 35″	59′ 11″
8	..... log sin ω'.....	6,4564269	7,0747403	7,5703692	7,8540687	8,0612239	8,2359041
9	..... log 6.....	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125
10	..... log 6 + log sin ω = log Δy.	7,23457815	7,85289205	8,34852045	8,63221995	8,83938015	9,01405535
11	..... Δy.....	0,0017162	0,0071268	0,022311	0,042876	0,069085	0,10329
12	..... $\Sigma\Delta y$.....	0,0017162	0,008843	0,031154	0,074030	0,143115	0,246405
13	..... log cos ω.....	.....	.....	.....	.....	9,9999712	9,9999357
14	..... log 6 + log cos ω = log Δx.	.....	.....	.....	.....	10,77812245	10,77808685
15	..... Δx.....	6,000	6,000	6,000	6,000	5,9996	5,9991
16	..... $\Sigma\Delta x$.....	6,000	12,000	18,000	24,000	29,9994	35,9985

TABLEAU ANNEXE N° 6.

TYPE 6.

Raccordement avec courbe de 1,000, 1,200, 1,500, 2,000 mètres et au-dessus. Surhaussement par mètre 0,00211. Vitesse de 80km à l'heure.

	RAILS Nos	1	2	3	4	5	6
1	Surhaussement moyen.....	0,00633	0,01899	0,03165	0,04431	0,05697	0,06963
2	Rayon moyen R.....	11800	3970	2360	1680	1310	1070
3	..... log 3.....	0,47712125					
4	..... log R.	4,07188201	3,59439255	3,372912	3,22530928	3,1172713	3,02938378
5	... log cos α = log 3 − log R.....	6,40523924	6,88272870	7,10420925	7,25181197	7,35984995	7,44773747
6	..... α.....	89° 59′ 7″	89° 57′23″	89° 55′37″	89° 53′52″	82° 52′ 8″	89° 50′22″
7	... $\omega' = \omega + (90° - \alpha) + (90° - \alpha')$..	53″	4′23″	11′23″	21′54″	35′54″	53′24″
8	..... log sin ω'	6,40523924	7,1055305	7,5199948	7,8041673	8,0188127	8,1912499
9	..... log 6.....	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125	0,77815125
10	..... log Δy = log 6 + log sin ω'	7,18339049	7,8836817	8,2981460	8,5823185	8,7969639	8,9694011
11	..... Δy.....	0,0015254	0,007650	0,0198	0,0382	0,0626	0,0932
12	..... $\Sigma\Delta y$ ou y.....	0,0015	0,00917	0,02897	0,0671	0,1297	0,223
13	..... log cos ω'.....	.....	.....	.....	9,9999912	9,9999764	9,999947
14	..... log 6.....	.....	.....	....	0,7781512	0,7781512	0,778151
15	.... log Δx = log 6 + log cos ω'.....	.....	.....	.....	10,7781424	10,7781276	10,778098
16	..... Δx.....	6m	6m	6m	6m	6m	5,9992
17	..... $\Sigma\Delta x$.....	6	12	18	24	30	35,9992

NOTE

SUR L'EMPLOI DU GONIOMÈTRE DE BABINET,

pour la mesure des indices de réfraction et la mesure des angles des cristaux,

PAR M. A. PIQUET.

Il y a bientôt treize ans, j'écrivis pour un de mes amis quelques notes sur l'emploi du goniomètre de Babinet, pour la mesure des indices de réfraction et la mesure des angles des cristaux.

Depuis lors, bien souvent on m'a demandé communication de ces notes, faute de trouver dans les traités de physique et de minéralogie les renseignements suffisants pour l'emploi (sans maître) de cet instrument.

Je publie donc aujourd'hui les quelques lignes que j'écrivis alors, espérant qu'elles pourront aider nos jeunes collègues dans leurs études pratiques.

Cela dit, et ne réclamant d'autre mérite que celui de grouper d'une façon méthodique les notions théoriques[1], et d'exposer, avec des détails qui pourront paraître oiseux à ceux qui savent, la marche à suivre pour la mesure des angles et des indices de réfraction, au moyen du goniomètre de Babinet, j'entre en matière.

1° *Indice de réfraction.* — Quand un rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre, il est dévié de sa direction primitive, de façon que, SI étant le rayon incident, AB la surface de contact des deux milieux, NIN' une normale à cette surface au point d'incidence, le rayon SI, au lieu de traverser le deuxième milieu suivant la direction S''I la traverse suivant la direction S'I (si ce deuxième milieu est plus dense que le premier) (fig. 1, Pl. 51).

Le rapport $\frac{\sin \theta}{\sin \theta'}$ des sinus des deux angles SIN et S'I'N' est ce que l'on appelle l'indice de réfraction de ce deuxième milieu par rapport au premier.

Ce rapport est généralement représenté par la lettre n.

1. Indispensables pour l'usage de cet instrument.

2° *Angle limite.* — Si dans l'équation $\frac{\sin\theta}{\sin\theta'} = n$ on fait $\theta = 90°$, $\sin\theta = 1$, alors on a $\frac{1}{\sin\theta'} = n$. D'où $\sin\theta' = \frac{1}{n}$.

D'où on déduit cette conséquence que l'angle le plus grand que puisse faire S'I avec N'I est celui qui a pour valeur $\frac{1}{n}$ et correspond à SIN=90°, et que si la lumière passait du deuxième milieu dans le premier (contrairement à ce que nous avons supposé dans le cas précédent) quand le rayon S'I ferait avec N'I un angle plus grand que celui correspondant à $\sin\theta' = \frac{1}{n}$, ce rayon ne pourrait émerger dans le deuxième milieu et serait réfléchi par la surface AB.

L'angle qui a cette mesure est donc celui qui limite l'émergence, et, pour cette raison, on lui a donné le nom d'angle limite.

La connaissance de cet angle est d'une importance très-grande.

Prenons, en effet, un prisme ABC; un rayon SI incident sur la face AB suivra la marche SII'S'.

Si θ est tel que θ'' soit plus grand que l'angle limite (que je désignerai par la lettre L) on aura $\theta''' > 90°$ et le rayon II', au lieu d'émerger, sera réfléchi sur la face AC.

On démontre aisément (fig. 2, Pl. 51) :

1° Que si l'angle réfringent BAC ou $\alpha = L$, tous les rayons qui arriveront dans l'angle NIB pourront sortir (si toutefois l'angle ICA est au plus égal à α, c'est-à-dire à 45°), tandis que ceux qui arriveront dans l'angle αIA ne pourront pas sortir, et seront réfléchis sur la face AC;

2° Que si $\alpha < L$, tous les rayons passeront;

3° Que si $\alpha = 2$ L, aucun rayon ne passera, tous seront réfléchis.

La première proposition se démontre ainsi : si on considère un rayon S''I émergeant en S'''I'', on voit que l'angle I''IR' étant plus grand que θ et l'angle IR'I'' étant égal à IRI', l'angle II''R' est plus petit que θ'', plus petit que l'angle limite. On verrait de même que tout rayon tombant dans l'angle NIA donnerait un angle plus petit que θ', et par conséquent un angle d'incidence sur la face Ac $> \theta''$; les deuxième et troisième propositions se trouvent démontrées en remarquant que, quand $\alpha = L$ l'angle II''D $= \alpha$ et est, par conséquent, $< L$, et que dans le deuxième cas cet angle est égal à $\alpha = 2$ L. On prouve de plus que dans ce cas aucun rayon, sauf BI, ne pourrait sortir, car pour BI on a IMI $= 180 = 2$ I et $\theta = \theta' = L$.

Il est donc important, quand on a à mesurer l'indice de réfraction d'une substance, de ne pas prendre α trop grand.

3° *Déviation minimum.* — L'angle $R''C'S'$ [1] que fait un rayon incident prolongé SIR'' avec le rayon émergent $S'I'C'$ est ce qu'on appelle l'angle de déviation ou simplement la déviation (il mesure la déviation qu'éprouve le rayon SI en traversant le prisme). Cette déviation est variable avec l'angle d'incidence, et on démontre, par un calcul assez long, et que je ne transcrirai pas ici, que cette déviation est minimum quand

$$\theta = \theta''', \ \theta' = \theta'' :$$

or, alors on a $\theta + \theta''' = \alpha + \delta$ et $\theta' + \theta'' = \alpha$, d'où $\theta = \theta''' = \frac{1}{2}(\alpha + \delta)$

et

$$\theta' = \theta'' = \frac{1}{2}\alpha.$$

et

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta'} = n = \frac{\sin\frac{1}{2}(\alpha+\delta)}{\sin\frac{1}{2}\alpha}.$$

Cette formule est celle qui nous servira à déterminer n au moyen du goniomètre.

4° *Dispersion, spectre, raies du spectre, indice moyen de réfraction, dispersion totale, dispersion partielle, pouvoir dispersif.* — Lorsqu'un rayon de lumière blanche traverse un prisme, il en sort coloré et dilaté ; ce phénomène porte le nom de dispersion.

Le rayon émergent ainsi dilaté et coloré, reçu sur un écran, y dessine ce qu'on appelle le spectre solaire. Celui-ci est perpendiculaire aux arêtes du prisme, et ses couleurs, en commençant par celles du côté de la base du prisme, sont : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge.

Le spectre, pour la lumière solaire, est sillonné de raies noires, qui sont réparties d'une manière constamment semblable, quel que soit, d'ailleurs, l'indice de réfraction du prisme et son angle réfringent.

La figure 3 montre les raies les plus apparentes de chaque couleur, avec les lettres qui les désignent.

J'y ai ajouté la lettre H' pour désigner une raie qui n'a point encore reçu de désignation spéciale. Ces raies sont autant de repères dont nous aurons besoin pour la détermination des indices de réfraction.

Comme il est facile de le voir, la dispersion est due à la différence des indices de réfraction des rayons colorés, qui composent un faisceau de lumière blanche.

Donc, quand on parle de l'indice de réfraction d'une substance par rapport à une autre, il est nécessaire de s'entendre sur le rayon réfracté

1. Que je désigne par δ quand c'est l'angle de déviation minimum.

qu'on a considéré. Aussi, généralement, quand on ne spécifie pas ce rayon, est-il entendu que c'est l'indice de réfraction pris à la raie E, correspondant au jaune, et on le désigne simplement par n.

En général, l'indice pour un rayon de couleur quelconque pris à la raie la plus saillante de cette couleur se représente par n, avec un indice qui est la première lettre de cette couleur.

La différence de deux indices de couleur quelconque est ce qu'on appelle la *dispersion partielle*. Exemple : $n_j - n_o$.

La différence des indices des rayons extrêmes est ce qu'on appelle la *dispersion totale*. Exemple : $n_{vl} - n_r$.

Cette dispersion totale est de 0,043313 pour le flint, et de 0,020734 pour le crown.

On appelle aussi *pouvoir dispersif* le rapport de la dispersion totale à l'indice moyen de réfraction diminué de 1. Ainsi le pouvoir dispersif se représente par l'expression $\frac{n_{vl} - n_r}{n_j - 1}$ ou simplement par $\frac{dn}{n-1}$.

On appelle *rapport de dispersion* le quotient de deux dispersions quelconques des mêmes couleurs pour deux substances différentes. Ces quotients ne sont pas égaux pour toutes les couleurs.

Du goniomètre de Babinet et de son emploi. — Ce goniomètre se fixe sur un pied (fig. 4). Il se compose d'un cercle gradué, sur lequel se trouvent deux lunettes, l'une fixe A, et l'autre mobile B munie d'un vernier V. Au centre se trouve un petit support C de métal ou de cristal étamé (faisant miroir), sur lequel on fixe le cristal M; ce petit support est susceptible d'un mouvement de rotation indépendant à la main, et d'un mouvement de rotation solidaire de celui de l'alidade D.

Pour se servir de cet instrument il faut faire différentes opérations préliminaires, que nous allons indiquer.

1° *Régler les lunettes.* — La lunette B a la disposition représentée fig. 5, comme on le voit, c'est une lunette à deux tirages a et b; dans b se trouvent des fils croisés à angle droit.

On amène ces fils (au moyen du tirage a) dans une position telle qu'on les voie très-distinctement par l'oculaire; puis on regarde un objet éloigné avec toute la lunette, et on règle la lunette avec le tirage b, de façon à ce que la vision soit très-distincte.

La lunette A a la disposition représentée (fig. 6). On place la fente au moyen du tirage a' de façon à ce que, les deux lunettes A et B étant l'une vis-à-vis de l'autre, on puisse voir très-distinctement cette fente avec la lunette B.

Les deux opérations sont faciles et ne demandent que quelques tâtonnements assez courts.

2° *Placer la fente perpendiculairement au plan du limbe et placer de même l'un*

des fils de la lunette B. — Pour ce faire on place, aussi bien qu'on le peut, à simple vue, la fente parallèle au limbe, puis, avec la lunette B, qu'on promène à droite et à gauche, on regarde si, pendant ce mouvement, le point de croisement des fils se voit toujours sur la fente. On modifie la position de la fente jusqu'à ce qu'il en soit ainsi, alors la fente est parallèle au plan du limbe.

Cela fait, on place l'un des fils de la lunette B parallèlement à la fente, et, par conséquent, parallèlement au plan du limbe.

On place enfin la fente parallèlement à ce fil vertical, et l'appareil se trouve ainsi réglé.

3° *Placer le cristal convenablement, et de façon que son arête soit perpendiculaire au plan du limbe.* — Cette opération est la plus longue de toutes; très-simple en théorie, elle prend beaucoup de temps en pratique, et demande une certaine habitude.

Voici comment on procède (fig. 7) :

C étant la plate-forme de métal ou de glace sur laquelle on doit placer le cristal M, et O son centre de figure, on place M de façon qu'il occupe à peu près la position *abc* (le cristal ne doit guère avoir plus de 3 à 4 centimètres de côté) ; si la plate-forme est une glace, et qu'on ait eu soin de ne mettre de cire que sous le cristal, on le place de façon que son arête, vue par réflexion, ne fasse pas de brisure avec l'arête réelle; alors cette arête est sensiblement perpendiculaire au plan du miroir, et, par conséquent, au plan du limbe.

Que la plate-forme C soit un miroir ou non, on s'assure de la perpendicularité de l'arête et du cristal au plan du limbe par le moyen suivant :

On regarde par la lunette B l'image réfléchie par la face *a b* de la fente de A, et si cette image est parallèle au fil croisé vertical, la face *a b* est sensiblement perpendiculaire au plan du limbe.

Si cette image n'est pas parallèle au fil croisé vertical, on bouge le prisme M jusqu'à ce qu'il en soit ainsi.

Cela fait pour la face *a b*, on fait de même pour la face *ac* (ce qui, quelquefois, dérange ce qu'on a fait pour *a b*), et on tâtonne jusqu'à ce que l'image réfléchie, tant par *a b* que par *a c*, soit parallèle au fil croisé vertical; le cristal se trouve alors convenablement placé.

4° *Mesure de l'angle du prisme* α. — On amène le rayon incident S I (fig. 7) à être réfléchi sur le fil vertical de la lunette B ; puis on fait tourner le prisme *a b c* de façon à ce qu'il occupe *a'b'c'*, et que, par conséquent, les faces *ac* et *a b* réfléchissent le même rayon de lumière de la même manière.

L'angle dod' est celui qu'a décrit l'alidade D, quand on a amené la face *ac* à occuper la position *a'c'*, et le complément de cet angle $d''od' = \alpha =$ l'angle du prisme, car

$$dod' = a'oa, \quad aa'o = a'ao = \tfrac{1}{2}\alpha, \quad aa'o + a'ao = \alpha = 180^\circ - a'oa = d''od.$$

Dans cette opération, pour que la lumière extérieure qui tombe sur le cristal, et qui est souvent plus forte que la lumière qu'on veut regarder par réflexion, ne vienne pas rendre l'opération impossible, on s'entoure d'écrans, de façon que la lumière qui arrive par la fente soit à peu près la seule qui tombe sur le prisme.

5° *Mesure de la déviation minimum.* — Comme il s'agit de la mesurer pour les différentes raies des couleurs du spectre, il faut s'arranger de manière à voir ce spectre et ces raies nettement par réfraction. Pour cela, il faut opérer dans une chambre noire, et le goniomètre étant placé sur un pied, éclairer la fente de A par un rayon de soleil qu'on amène du dehors, à travers une fente verticale, étroite, pratiquée dans un volet, au moyen d'un miroir ou d'une lentille.

On peut adopter la disposition (fig. 8) : une face C portant la fente qu'on fixe (quand elle est verticale) au volet par deux vis V V', B un tuyau noirci doué d'un mouvement de rotation sur son axe, et portant un miroir M doué d'un mouvement de rotation autour de l'axe A.

Quand ces dispositions sont prises, on place encore un écran autour du disque à fente de la lunette A (qui consiste tout simplement en un disque noir quelconque, un fond de chapeau percé d'un trou, de manière à pouvoir s'adapter autour du disque), et on procède à la mesure de la déviation minimum. Un rayon I A tombant en I sur *a b* émerge suivant I'B l'angle, M O B est la déviation, et il égale 180° moins l'angle A O B formé par les deux lunettes A et B (fig. 9).

Pour s'assurer que cette déviation est bien la déviation minimum, on fait mouvoir le prisme, et avec la lunette B on suit le même rayon réfracté (celui correspondant à la même raie), et lorsqu'on arrive à une position du prisme telle qu'un mouvement du prisme dans un sens ou dans l'autre augmente la déviation, c'est que cette position est celle qui correspond au minimum de déviation, et alors, lisant sur le limbe l'angle des deux lunettes, le complément de cet angle est l'angle de déviation minimum que nous appelons δ.

6° *Détermination de l'indice de réfraction.* — Comme nous avons trouvé α et δ, et que nous avons la formule $n = \frac{\sin 1/2\,(\alpha + \delta)}{\sin 1/2\,\alpha}$, nous en tirons la valeur de n pour la raie observée.

NOTE

SUR LE NOUVEAU SYSTÈME

DE

LOCOMOTIVE ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE

de MM. P. Louis BELLET et Charles DE ROUVRE.

Nous n'avons pas l'intention d'approfondir, dans les observations qui suivent, les problèmes qui se rattachent au système que nous avons été conduits à adopter; nous voulons faire ressortir seulement les principaux faits ayant rapport à notre invention.

La force que cette machine peut développer étant due uniquement à l'action chimique de la pile transformée en force vive par les électro-aimants, il est impossible d'apprécier la valeur de ce système si on n'a pas examiné préalablement et cette force et l'engin qui la transforme.

Depuis le commencement de ce siècle où Volta découvrit la pile jusqu'à nos jours, la manière de produire l'électricité dynamique a subi de nombreuses transformations.

Insister sur ces différents détails ce serait sortir de notre cadre; nous bornerons donc nos considérations à la pile de Bunzen que nous avons employée.

Dans ce couple, la production de l'électricité est causée par les réactions chimiques suivantes :

Aussitôt que le courant est fermé, l'eau dans laquelle plonge le zinc est décomposée par ce métal et par l'acide sulfurique, avec formation de sulfate de zinc. L'hydrogène mis en liberté se porte vers l'acide azotique du vase poreux et le décompose en le transformant en acide hypo-azotique dont une partie se dissout et l'autre se dégage.

Dans ces diverses réactions, il se produit deux courants provenant l'un de la décomposition de l'eau, l'autre de celle de l'acide azotique. Ces deux courants qui sont de même sens vont dans le conducteur interpolaire du charbon au zinc, c'est-à-dire du pôle positif au pôle négatif.

Un certain nombre de causes peuvent faire varier l'intensité du courant dans un couple.

Entre autres, nous citerons :

La résistance intérieure et extérieure du circuit;

La force des acides;

La surface du zinc immergé, etc.

On admet généralement que l'intensité d'un courant est en raison directe de la quantité de zinc dissous en un temps donné.

Cette loi est de la plus haute importance, la valeur du métal consommé représentant le prix de revient des forces électro-motrices.

D'après les relations qui semblent exister entre la chaleur et l'électricité, lorsqu'on cherche les effets que peut produire un courant donné, on arrive à un véritable problème de calorimétrie. On admet alors que la puissance de la pile est dans un rapport intime avec la chaleur produite par la sulfatation du métal, et que cette chaleur est égale à 18 calories par équivalent de zinc dissous.

Pour nous, nous sommes loin de croire d'une manière absolue à cette théorie.

Nous allons citer un fait connu qui semble la modifier entièrement.

Lorsqu'on décompose l'eau dans un voltamètre, on sait qu'à chaque équivalent de zinc, dissous dans un couple, correspond la décomposition d'un équivalent d'eau. On sait de plus qu'un équivalent d'eau pour se décomposer absorbe 34 calories.

Un seul élément de Bunzen suffisant à la décomposition de l'eau, il en résulte que, par équivalent de zinc dissous dans cet élément, c'est-à-dire par 18 calories produites, on décompose un équivalent d'eau qui en a besoin de 34.

Cet exemple prouve que, dans un élément, il y a une quantité de chaleur produite bien supérieure à la chaleur que donnerait le zinc si on le brûlait comme un combustible ordinaire.

On doit donc éviter, pour établir des calculs sur la force vive que peut produire un courant, de ne tenir compte que des équivalents de zinc dissous; car alors on ne trouverait que 18 calories par 33 gr. de métal, ce qui, comme l'expérience le prouve, est entièrement faux.

De plus, il n'est pas prouvé, pour nous du moins, que le zinc dissous dans un couple ne soit pas un combustible supérieur au charbon brûlé dans l'air, au point de vue de l'équivalent mécanique.

Nous n'insisterons pas davantage sur les diverses réactions qui se passent dans un couple voltaïque, cette partie de la physique étant maintenant connue de tout le monde.

Un des phénomènes, le plus curieux peut-être, dû à l'électricité dynamique, est celui de l'aimantation par les courants.

Pour la première fois, en 1820, Arago observa ce fait en enroulant un fil de cuivre autour d'une tige de fer.

Tous les électro-aimants, quelles que soient d'ailleurs leurs dimensions et leur forme, se composent de deux parties distinctes : le noyau de fer

destiné à être aimanté et l'hélice qui l'entoure, laquelle, traversée par le courant, donne au fer une aimantation temporaire.

Le choix du métal à employer a une très-grande importance dans la construction de ces appareils.

Si le fer n'est pas parfaitement pur, il conserve pendant quelques instants une partie de la force attractive que le courant lui a communiquée et qu'il devrait perdre instantanément au moment de la rupture du circuit.

On arrive aujourd'hui à fabriquer des fers dénués de toute force coërcitive et on peut, avec ce métal ainsi préparé, obtenir dans un temps très-court un grand nombre d'attractions.

Les spires qui entourent les électro-aimants sont généralement formées de fils de cuivre dont le diamètre et la longueur varient suivant les effets que l'on veut obtenir.

On a intérêt à employer ce métal le plus pur possible, afin de diminuer la résistance au passage de l'électricité.

On obtiendrait du reste des effets d'aimantation en se servant de fils formés d'autres métaux; mais le prix de revient et la grande conductibilité du cuivre ont rendu son emploi général.

On peut s'en rendre compte par les chiffres suivants :

Soit 1 la conductibilité du mercure, on a :

Fer.	6
Platine.	8
Cuivre.	38
Argent.	39
Or.	51
Palladium.	60

On peut construire des électro-aimants de toutes formes.

D'après M. Nicklès, les électro-aimants actuellement possibles comprennent :

12 familles,
38 genres,
1 sous-genre,
71 espèces,

et un grand nombre de variétés et de sous-variétés.

Nous n'entrerons pas dans le détail de cette classification. Nous nous bornerons à indiquer quatre groupes principaux auxquels se rattachent toutes les familles d'électro-aimants. Ces quatre groupes sont formés par :

Les électro-aimants droits,
Les électro-aimants tubulaires,
Les électro-aimants circulaires,
Et les électro-aimants para-circulaires.

Les électro-aimants droits se composent d'un barreau de fer doux entouré d'une spire en fil de cuivre (fig. 5).

Cette première classe d'électro-aimants est celle qui se compose du plus grand nombre d'espèces. Elle renferme les électro-aimants boiteux, bifurqués, etc. (fig. 9).

Les électro-aimants que nous avons employés dans le modèle de notre machine postale se rattachent à cette classe. Ce sont des bifurqués (fig. 6) à pôles antinomes et isodynamiques, c'est-à-dire de nom contraire et de force égale. Ce sont ceux qui, dans cette nombreuse famille, donnent le meilleur rendement.

Les électro-aimants tubulaires (fig. 8) sont formés d'un noyau de fer doux entouré de fil de cuivre et recouvert extérieurement d'une enveloppe métallique.

Nous avons observé dans ces aimants une force portante considérable; mais, à distance, cette force décroît plus rapidement que dans les électro-aimants de la classe précédente.

Le troisième et le quatrième groupe formés par les électro-aimants para-circulaires et circulaires sont d'invention récente et dus aux travaux de M. Nicklès.

Les électro-aimants para-circulaires (fig. 3) sont formés d'un cercle ou d'une roue de fer. L'hélice qui leur donne la force est portée par un cadre en cuivre qui enveloppe une partie plus ou moins considérable du cercle.

On peut, à volonté, créer un ou plusieurs pôles à la jante d'une roue aimantée par ce système, en la faisant passer par un ou plusieurs cadres portant des hélices. Le pôle se trouve toujours au milieu de la partie de la circonférence enveloppée par l'hélice.

Les électro-aimants circulaires (fig. 4) se composent d'un cylindre de fer doux recouvert d'une hélice en fil de cuivre et armé à ses extrémités de deux disques également en fer doux. Cette figure 4 représente une roue de locomotive destinée à donner des effets d'adhérence magnétique, d'après les plans de M. Nicklès.

Dans ces aimants, le foyer principal du magnétisme se trouve dans le moyeu et rayonne de là dans les disques.

Les électro-aimants circulaires offrent cette particularité que les effets attractifs, dont ils sont susceptibles en un point de la circonférence des disques, peuvent se reproduire en chacun des points de cette même circonférence. La somme des poids portés de cette façon est supérieure de beaucoup au maximum de force portante que l'on pouvait donner à l'un de ces points.

Ces deux derniers types d'électro-aimants, grâce à leur forme, sont plus aptes qu'aucun autre pour obtenir sur des locomotives des effets d'adhérence magnétique.

D'après M. Nicklès, cette adhérence serait d'environ 1/6 de la force portante de l'aimant.

Pour en revenir aux aimants que nous avons employés, nous rappellerons les conditions d'état qui influent sur leur rendement.

Leur force varie avec :

Le diamètre du barreau;
La hauteur des branches;
La nature du métal;
La section de la culasse;
La forme des surfaces polaires;
La section du fil de l'hélice;
La longueur de ce fil;
Le courant employé.

On a établi un certain nombre de lois déterminant les relations de ces données entre elles; mais nous les considérons plutôt comme des coïncidences des chiffres, vraies dans certaines limites et fausses dans d'autres, que comme des lois absolues.

Nous nous sommes surtout occupé de l'attraction à distance, comme étant le travail le plus utile que puisse effectuer un électro-aimant.

Voici la loi admise :

« L'attraction qu'un électro-aimant exerce sur une armature placée à « une certaine distance de ses surfaces polaires est en raison inverse du « carré de cette distance. »

Cette loi devait être la base des calculs servant à l'établissement de notre machine, et cependant elle est loin de se vérifier dans beaucoup de cas.

Nous citerons, à ce sujet, une de nos expériences :

Nous avons fait construire deux électro-aimants de forme différente. Tous deux, au contact, portaient le même poids. A 1/2 mil., on observait une légère différence dans leur force attractive; à 1 mil., la différence était très-sensible; à 2 mil., elle dépassait 150 g. et plus la distance augmentait, plus l'écart devenait grand eu égard à leur force attractive.

On peut conclure de cette expérience que la loi de l'attraction à distance n'était pas vraie pour l'un des deux électro-aimants; nous ajouterons qu'elle était fausse pour tous les deux.

Voici ce que nous avons cru remarquer en cherchant à vérifier cette loi. Depuis le point de contact jusqu'à un écart de 3 à 4 mil., la loi semble s'appliquer dans un grand nombre de cas. En dehors de cet écartement, l'attraction paraît être en raison de la simple distance.

Deux autres lois nous paraissent également inexactes; la première, que la force d'un aimant soit proportionnelle au nombre des spires de fil, la deuxième qu'elle soit proportionnelle à l'intensité du courant.

L'influence que les spires traversées par un courant exercent sur le barreau de fer doux varie avec leur écartement de la surface du barreau. La première rangée a une influence énorme sur la force de l'aimant; la seconde en a beaucoup moins, et l'influence n'est plus sensible à la

quatrième ou cinquième rangée suivant le cas. On peut démontrer ce fait expérimentalement avec beaucoup de facilité.

Quant à l'intensité du courant, son influence est variable, mais la force de l'aimant ne lui est pas proportionnelle. Il nous paraît évident que le fer ayant un *maximum* d'aimantation, cette proportionnalité ne saurait exister, puisque, à un moment donné, le fer ayant atteint ce *maximum*, l'augmentation du courant n'aura plus aucune influence.

Mais bien avant que le barreau d'un électro-aimant ait atteint son point de saturation, on ne remarque de rapport constant qu'en se plaçant dans des conditions spéciales.

Voici au reste quelques chiffres qui viennent à l'appui de ce que nous avons dit, et qui indiquent l'augmentation de la force portante d'un électro-aimant sous divers courants.

Le point de saturation se trouvait à environ 100 kil.

Sous le courant de 1 Bunzen, le poids porté était de	6 à 8 kil.
De 2 Bunzen.	25 à 30 kil.
De 3 Bunzen.	50 à 60 kil.

A partir de ce point, l'augmentation de force devenait à peine sensible.

Ainsi, lorsque l'on arrivait à faire porter de 80 à 85 kil. à l'aimant, un couple n'augmentait le poids porté que d'environ 1,000 à 1,200 g.; à 95 kil., il fallait quatre à cinq éléments pour augmenter sa puissance.

Il résulte de ces chiffres que dans ces machines électro-magnétiques il faut chercher non théoriquement, mais expérimentalement, quel est le courant le plus avantageux.

Il est évident qu'un moteur, où les électro-aimants travailleraient au point de saturation, serait dans les plus mauvaises conditions économiques.

Enfin, pour terminer ces quelques explications sur les faits principaux qui se rattachent à l'emploi et à la construction des électro-aimants, nous pensons que, pour arriver à des résultats pratiques dans cette branche de la physique, il faut s'éloigner du domaine de la théorie et des hypothèses, et ne prendre pour base de calculs que les résultats obtenus par des expériences faites avec le plus grand soin, en se plaçant autant que possible dans les conditions futures de l'application.

SERVICE POSTAL.

De tous temps on a cherché dans l'intérêt du commerce à rendre les communications plus promptes et plus simples. Cette pensée s'est manifestée sous diverses formes, soit par des améliorations successives dans le système postal, soit par l'emploi de la télégraphie électrique, soit enfin dans ces derniers temps par l'application d'un système de tubes atmosphériques pour la transmission des lettres dans l'intérieur des villes,

application faite à Londres et à Berlin. Le but qu'on se proposait dans ce dernier système était non-seulement d'accélérer la transmission, mais encore de diminuer les frais et encombrements qu'occasionnent un personnel nombreux et l'emploi, en chevaux et voitures, d'un matériel considérable.

Jusqu'à présent les résultats obtenus par les différents modes de transport adoptés sont restés bien au-dessous de ce qu'on était en droit d'en attendre. Le service de la poste est loin d'avoir atteint toute la célérité désirable. La télégraphie, malgré ses avantages incontestables, n'est elle-même que l'auxiliaire de la correspondance, et le petit nombre de mots dans lequel on est obligé, par économie, de renfermer sa pensée rend souvent le style télégraphique insuffisant, quelquefois même incompréhensible. Quant au transport des lettres au moyen de tubes atmosphériques, transport qui n'a encore eu lieu qu'à titre d'essai sur de petits parcours, on est porté à penser que la difficulté de raréfier l'air dans l'intérieur des tubes, le prix des machines à établir à cet effet et leur dépense d'entretien, feront toujours obstacle à l'application en grand de ce système.

La locomotive électro-magnétique que nous avons étudiée et expérimentée dans de certaines limites semble renfermer en elle les principes nécessaires pour améliorer les différents services postaux.

En effet, elle pourrait être employée à transporter dans l'intérieur des villes les lettres et paquets dont se charge la poste à une vitesse de 20 à 24 kilomètres à l'heure, au moyen d'un réseau de voies souterraines reliant entre eux les bureaux principaux.

Ces considérations nous ont conduit à combiner une machine dont nous allons décrire le principe et la construction.

PRINCIPE.

Supposons un cercle O posé sur un plan MN indéfini (fig. 7); si en un point quelconque de sa circonférence, en C, par exemple, nous plaçons un poids suffisant pour rompre l'équilibre dans lequel se trouve le cercle [1], ce poids descendra au point E, où la circonférence deviendra tangente au plan MN.

Dans ce mouvement, le centre O sera déplacé dans le sens de la flèche OO′ d'une quantité sensiblement égale à FE.

Imaginons maintenant que le poids appliqué en C soit remplacé par une force attractive s'exerçant de C en E, l'effet sera le même.

Or si, dans le cercle O, nous plaçons de O en C un électro-aimant de telle sorte que ses surfaces polaires soient en C; si, d'un autre côté, le plan

1. La force à déployer, en un point quelconque de la circonférence du cercle O, pour le déplacer est inversement proportionnelle au sinus de l'angle sous lequel elle agit.

fixe MN est en fer, de manière à pouvoir servir d'armature, il est évident qu'au moment où nous ferons passer un courant voltaïque dans l'électro-aimant, celui-ci sera attiré sur le plan MN et le cercle O, comme nous l'avons dit ci-dessus, se trouvera lancé dans la direction indiquée par la flèche.

Ceci posé, la théorie de notre locomotive électro-magnétique est facile à comprendre. Sa force repose entièrement dans une paire de roues placées à l'arrière du châssis (disposition analogue à celle des locomotives Crampton). Ces roues, dont le diamètre peut varier suivant les vitesses qu'on veut obtenir et la destination de l'appareil, contiennent chacune un certain nombre d'électro-aimants, disposés dans la direction des rayons du cercle, de telle sorte que leur culasse soit rapprochée du moyeu, tandis que leur surface polaire traverse l'épaisseur de la jante et l'affleure extérieurement.

Ces roues sont à boudin et faites pour rouler sur une voie ferrée dont les rails servent d'armature.

A l'aide d'un commutateur placé sur l'essieu des roues motrices, le courant qui fait agir les électro-aimants passe successivement dans chacun d'eux, de telle sorte qu'ils travaillent alternativement à partir du point C jusqu'au moment où ils sont en contact avec le plan MN, c'est-à-dire le rail; en ce moment, le courant est rompu par le commutateur et l'électro-aimant en contact perd sa force, tandis que le suivant, qui se trouve au point C reçoit à son tour l'aimantation, est attiré sur le rail et agit jusqu'au point de contact où le courant est interrompu de nouveau; ainsi de suite. On voit que la roue avance à chaque attraction d'une quantité égale à FE.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL D'EXPÉRIENCE.

La locomotive que nous avons construite se compose essentiellement à l'avant de deux roues de petites dimensions *r*, et à l'arrière de deux roues de grand diamètre *R*, qui sont à la fois le siége de la force et l'organe de transmission de mouvement.

Ces deux systèmes de roues sont reliés entre eux par un châssis courbe C, afin de compenser la différence de hauteur qui existe entre les deux essieux.

Chaque roue motrice R est formée : 1° d'un moyeu en fer M, percé de 20 trous servant à l'encastrement d'un nombre égal de rayons de bronze très-courts D; 2° de 20 électro-aimants E, dont les culasses viennent s'appuyer sur l'embase des rayons D et les extrémités opposées à l'intérieur de la jante.

La disposition des électro-aimants est telle que leurs bobines s'appuient intérieurement sur la jante, tandis que leurs surfaces polaires P traversent celle-ci et l'affleurent extérieurement.

Les roues motrices sont clavetées sur l'essieu de façon à croiser entre elles leurs rayons, et, par cela même, les électro-aimants qui les composent. Cette position des roues sur l'essieu permet d'obtenir une attraction sur le rail à chaque quarantième de circonférence parcouru.

L'essieu qui relie les deux roues motrices porte la distribution qui consiste en un commutateur analogue à ceux employés dans les appareils de physique. Cette distribution est formée de deux disques de caoutchouc durci, sur la circonférence desquels on a placé alternativement 20 plaques d'ivoire et 20 plaques de cuivre. Ces dernières portent chacune une tige, sur laquelle on fixe un des fils de l'électro-aimant qui lui est symétrique dans la roue. Entre ces deux cercles, il s'en trouve un troisième de plus petit diamètre, entièrement en cuivre, et portant sur ses côtés 40 tiges de même métal qui correspondent chacune à un fil d'électro-aimant.

Cette distribution est clavetée sur l'essieu et complétement isolée par le caoutchouc durci dont il a été question. Au-dessous du cercle de cette distribution, et supportée par deux entretoises T, est placée une plateforme F qui porte les marteaux à ressort V du commutateur. Cette plateforme consiste en une plaque d'ivoire ayant deux glissières dans lesquelles passent les tiges des marteaux, ce qui permet, à l'aide d'une vis de pression, de régler leur longueur. Ces marteaux, au nombre de deux, se composent de ressorts d'acier portant à leur extrémité un prisme de cuivre dont l'arête est en contact constant avec la circonférence du cercle de distribution. Ces marteaux sont reliés ensemble de telle sorte que le courant puisse passer de l'un à l'autre. Ils communiquent par un boulon et une vis mobile à un galet ou roue à gorge G destiné à leur amener le courant. Un second galet correspond directement avec un ressort qui porte sur le disque de cuivre de la distribution.

Au milieu des deux rails qui forment la voie se trouvent deux fils métalliques analogues aux fils télégraphiques, sur lesquels roulent ces galets en cuivre dont nous venons de parler.

Ces fils communiquent directement avec une pile placée à l'une des extrémités de la voie.

Nous avons adopté cette disposition : 1° à cause des inconvénients qu'aurait pu présenter pour les lettres et paquets transportés le voisinage d'une pile; 2° à cause de la difficulté de maniement d'un grand nombre d'appareils voltaïques et des frais de transport d'un poids mort relativement considérable.

Cette disposition n'offre qu'un inconvénient ; la résistance du circuit augmente au fur et à mesure que la locomotive s'éloigne de la station où fonctionne la pile. Du reste, dans l'extension de ce système, au point de vue de la grande traction, chaque appareil porterait avec lui une batterie complète.

Mais, pour les machines postales, on organiserait à poste fixe une

batterie, comme cela se pratique pour les lignes télégraphiques, qui, par des fils, fournirait le courant aux appareils en marche.

En effet, le courant fourni par la pile suit un des fils conducteurs; passe par le galet G qui le touche; traverse la plate-forme F; arrive à celui des marteaux V qui est en contact avec une des plaques de cuivre de distribution; suit le fil qui conduit à un électro-aimant E; sort par la seconde électrode de cet aimant; passe par le disque de cuivre, par le ressort qui est en contact avec lui, et revient à la pile en suivant le deuxième galet et le fil conducteur opposé à celui par lequel il est parti.

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la force que le courant engendre instantanément dans les électro-aimants détermine à chaque attraction un déplacement de la roue, et, par suite, un déplacement analogue dans les cercles de distribution. Par l'effet de ce mouvement, le marteau qui se trouve être en contact avec une plaque de cuivre est porté sur une plaque d'ivoire. Le courant, étant alors interrompu de ce côté, passe par le marteau opposé, qui, par le croisement des rayons, est en contact avec une plaque de cuivre.

On voit que le courant chemine alternativement d'une roue motrice à l'autre, et que les roues sont en retard l'une sur l'autre d'un quarantième de circonférence.

Comme on le comprend facilement, pour arrêter un de ces appareils en marche il suffit de rompre, par un moyen quelconque, le courant, source de mouvement de cette machine; les électro-aimants cessent ainsi de fonctionner, et la locomotive ne tarde pas à s'arrêter.

Le châssis de la locomotive porte un coffre *u* destiné à contenir les lettres et paquets.

ÉCONOMIE RÉSULTANT DE L'APPLICATION DE CE SYSTÈME.

Pour démontrer l'économie qui peut résulter de l'emploi de ce système, nous prendrons comme exemple le transport des dépêches entre le bureau situé place de la Bourse et le ministère de l'Intérieur. Ce service est fait actuellement par des voitures qui, tous les quarts d'heure, partent des points extrêmes de la ligne.

Ce service coûte à l'Administration 50,000 fr. par an.

En remplaçant cet ordre de choses par l'emploi de la locomotive électro-magnétique, voici les résultats que l'on pourrait obtenir :

La machine étant construite pour fonctionner à une vitesse de 24 kil. à l'heure, la durée d'un trajet (2,000 mètres) entre le Ministère et la Bourse, ne serait que de 5 minutes, tandis que, actuellement, il en faut 20.

Comme on le voit, cette différence de temps est très-appréciable en télégraphie, où l'on cherche des transmissions rapides.

L'établissement de cette ligne demanderait l'emploi d'une pile de 15 éléments, qui, par heure, coûterait 90 centimes, soit 7,000 par an.

Il faudrait en plus construire une voie souterraine. On peut admettre que la dépense occasionnée par ce travail ne s'élèverait pas à plus de 200,000 fr. par kilomètre, soit pour 2,000 mètres, 400,000 fr.

Cette somme représente, à 6 p. °/₀, un intérêt annuel de 24,000 fr. qui, ajoutés au 7,000 fr. mentionnés ci-dessus, forment la dépense totale, soit, 31,000 fr. par an.— La somme de 19,000 fr., qui est l'excédant de la dépense actuelle sur celle du système électro-magnétique, pourrait être employée, en totalité ou en partie, à amortir le capital dépensé pour l'établissement de la voie.

Cet amortissement une fois effectué, les frais se trouveraient réduits à un *minimum* représenté par la dépense de la pile et l'entretien de la voie.

Ce que nous venons d'établir pour un cas spécial, le transport des dépêches télégraphiques, pourrait s'appliquer de même au transport des lettres entre des bureaux de poste principaux.

L'administration réaliserait une grande économie sur son personnel, et le service serait fait avec plus de rapidité et de régularité.

HYPOTHÈSE DE LA GRANDE TRACTION.

Il existe deux manières d'appliquer notre système de roues électro-magnétiques à la grande traction :

La première consiste à créer une locomotive ayant, à sa jante, un point attractif assez puissant pour la déplacer, ainsi que le train qu'elle doit remorquer.

La deuxième combinaison consisterait à ce que chaque wagon fût lui-même animé par une force propre, c'est-à-dire que ses roues fussent aimantées.

Quoique ces deux combinaisons soient également applicables, le cadre dans lequel nous sommes forcé de nous renfermer nous oblige à ne nous occuper ici que de la dernière.

Nous avons étudié les questions se rattachant à la construction d'un wagon électro-magnétique, en vue surtout du service de la poste. Mais il est évident qu'une réunion de ces wagons formerait un train ayant une force propre à chaque voiture, et rentrerait ainsi dans la deuxième combinaison que nous avons énoncée.

Voici les conditions de construction dans lesquelles devrait se trouver cette nouvelle machine :

Poids du wagon.	5 tonnes 7/10.
Nombre des roues.	6
Diamètre des roues.	1 mètre.
Pile. Éléments de Bunzen.	25

Les roues seraient aimantées par le système de M. Nicklès et formeraient de véritables électro-aimants circulaires. Leur construction permettrait d'avoir à leur jante 40 points attractifs.

La résistance d'un wagon étant de 8 à 9 kil. par tonne, suivant la vitesse dont il est animé, et ne dépassant pas 10 kil. pour les *express*, nous admettrons pour notre wagon électro-magnétique une résistance totale de 57 kil., soit 10 kil. par tonne.

Chaque wagon ayant six roues motrices pour engendrer cet effort (57 kil.), chaque roue doit produire sur son essieu une force d'impulsion de $9^{k},500^{gr}$.

Si ce poids ($9^{k},500^{gr}$) était appliqué à l'extrémité d'un rayon horizontal, la force développée dans la roue serait suffisante; mais cette force n'agissant pas sous un angle de 45° doit être augmentée, car, ainsi que nous l'avons dit précédemment, il faut que cette force soit inversement proportionnelle au sinus de l'angle sous lequel elle agit.

L'angle étant de 9° pour 40 points attractifs, la force deviendra égale à $56^{k},520^{gr}$.

C'est donc une attraction de $56^{k},520^{gr}$ qu'il faudra exercer sur le rail à une distance de 6^{mil}.

Ce résultat est facile à obtenir avec le système des aimants circulaires. M. Serrel, en répétant des expériences déjà faites par M. Nicklès, est arrivé à donner à des roues de locomotive une aimantation de 2 à 3,000 kil. au contact.

Ces chiffres permettent de croire qu'il n'y a aucune impossibilité pratique s'opposant à l'emploi de notre système sur une grande échelle,

Voyons maintenant quelle serait l'économie résultant de l'emploi de locomotives électro-magnétiques.

Dans les expériences de M. Serrel, on avait obtenu une aimantation de 2 à 3,000 kil. par roue motrice avec une pile de 14 éléments, ce qui, par roue, donne 7 éléments.

Il est probable que, dans le système que nous venons d'exposer, l'aimantation des roues n'aurait pas besoin d'être aussi forte. 4 à 5 éléments par roues nous semblent devoir produire une force suffisante.

Nous admettrons donc, pour le système complet des six roues, une batterie de 25 éléments, qui représentent une dépense de 1 fr. 50 c. par heure.

Comme nous avons pris dans nos calculs la résistance des trains *express*, nous pouvons compter sur une vitesse moyenne de 50 kilomètres à l'heure; ce qui, par kilomètre, donnerait une dépense de 0 fr. 03 c. par voiture.

Nous croyons aussi devoir rappeler que, par ce système, on peut arriver à des vitesses bien supérieures à celles obtenues jusqu'à ce jour avec les locomotives actuelles. La vaporisation et l'inertie du mécanisme forment une limite que l'on ne peut dépasser. Dans les locomotives électro-

magnétiques, la force qui se reproduit instantanément et l'absence de tout mécanisme reculent cette limite jusqu'au point où il y a équilibre entre la force produite et la pression de l'air sur les parois extérieures des wagons.

En remarquant que les frais de traction ne s'élèvent dans ce système qu'à 0 fr. 03 c. par kilomètre et par 5 tonnes 750; que l'on supprime complétement les frais de combustible pour la mise en pression de la machine, ainsi que les pertes dues aux arrêts; en remarquant en outre que sur certaines lignes, notamment sur celles de la banlieue, des machines restent souvent en feu pendant 7 à 8 heures pour ne produire qu'un travail très-faible, on constatera que notre locomotive donnerait une économie sensible sur la traction actuelle.

NOTE

SUR LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE

DE MM. BELLET ET DE ROUVRE,

PAR M. ROUYER.

A la séance de la Société des ingénieurs civils du 2 juin, M. de Bruignac, parlant de la locomotive électrique de MM. Bellet et de Rouvre, a énoncé comme vérité de principe ce fait, qu'avec cet engin la puissance de traction était indépendante de la charge sur l'essieu moteur.

Cette proposition n'étant pas exacte en principe, il nous a paru utile de la rectifier; nous aurons aussi à relever quelques autres inexactitudes dont nous parlerons plus loin.

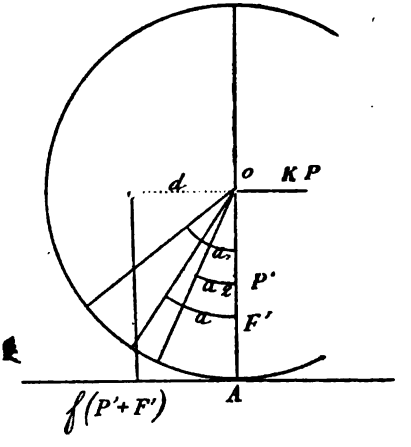


Fig. 1.

L'électro-aimant qui produit la puissance motrice développe une force attractive qui varie avec la distance à laquelle agit l'aimant. Le point d'application de cette force est situé au pôle de l'électro-aimant,

lequel décrit une circonférence de rayon R-a, a étant la distance du pôle de l'aimant à la jante de la roue, nous désignerons par R_1 ce rayon, R étant le rayon de la roue au contact.

Désignons par α_1, α_2, les angles que font, avec la verticale passant par l'axe de l'essieu, les rayons de la roue entre lesquels se meut l'électro-aimant, pendant qu'il est soumis à l'action magnétique.

Si on n'électrise à la fois qu'un seul électro-aimant, chacun d'eux agira successivement en décrivant un arc $\frac{2\pi}{n}$, n indiquant le nombre des électro-aimants. Tout en décrivant cet arc, l'électro-aimant considéré parcourt un chemin vertical.

$$R_1 \operatorname{Cos} \alpha_2 - R_1 \operatorname{Cos} \alpha_1 = R_1 (\operatorname{Cos} \alpha_2 - \operatorname{Cos} \alpha_1).$$

Comme la force attractive n'est pas constante pendant ce temps, nous considérerons une de ses valeurs F. Nous désignerons par α l'angle de son rayon recteur avec la verticale passant par l'axe de l'essieu. Le bras du levier de cette force sera

$$d = R_1 \sin \alpha.$$

Nous supposerons aussi que tout se passe comme s'il n'y avait qu'une seule roue par essieu, de sorte que tous les efforts verticaux agissant sur l'essieu, tels que force attractive F et poids sur l'essieu P', devront être en réalité divisés par deux pour avoir les efforts agissant sur une seule roue. Il en sera de même pour la résistance au glissement de la roue sur le rail.

Ceci posé, étudions les conditions d'équilibre du système.

L'essieu moteur est soumis aux forces suivantes :

1° La résistance à la traction de tout le train, KP.

P, étant le poids total du train, et K la somme des coefficients de résistance au roulement, et en rampes ainsi que de ceux dus aux courbes et à l'action du vent, lesquels sont, pour plus de commodité, exprimés en fonction du poids P;

2° La réaction qu'exerce le rail sur l'électro-aimant, sous l'influence de l'attraction égale et de sens contraire que produit l'électro-aimant. Nous la désignerons par F;

3° La réaction exercée par le rail sur la roue, sous l'influence de la charge sur l'essieu moteur; soit P' cette force;

4° La réaction exercée par le rail sur la roue, sous l'influence de l'attraction F produite par l'électro-aimant sur le rail; soit F' cette force;

5° Les résistances au glissement auxquelles donnent lieu les forces P' et F' à la jante de la roue

$$f P' \text{ et } f F',$$

f étant le coefficient de glissement.

Considérons le système en marche et animé d'un mouvement uniforme, à cet instant les forces extérieures agissant se font équilibre, nous pourrons donc écrire les équations qui constatent le fait.

Projetons toutes les forces sur un axe vertical, nous obtiendrons :

$$(1) \qquad F - F' = o,$$

d'où :

$$f F = f F'.$$

Prenons les moments autour du point de contact A de la roue avec le rail.

$$(2) \qquad F d - K P_{\star} R = 0.$$

Cette équation ne sera pas vérifiée pour toutes les valeurs de α comprises entre α_1 et α_2 puisque F est une force variable, mais le travail de cette force F pour passer de la position correspondant à α_1, à celle correspondant à α_2 sera égal au travail de KP pendant le parcours correspondant $2 R \frac{\pi}{n}$. La masse du train fera volant pour régulariser le mouvement.

Prenons les moments autour de l'axe de l'essieu.

$$(3) \qquad F d - f (P' + F) R = o.$$

Si l'on admet que la puissance de traction de l'engin en question soit indépendante de la charge sur l'essieu moteur, cette équation pourra s'écrire ainsi :

$$F d = f F R$$

ou bien

$$R_1 \sin \alpha = f R,$$

d'où

$$(4) \qquad \sin \alpha = f \frac{R}{R_1}$$

de sorte que si l'angle α_1, à partir duquel l'aimant commence à agir, est plus grand que l'angle α déduit de l'équation 4, il y aura glissement de la roue sur le rail : la roue patinera.

Pour bien fixer les idées à ce sujet prenons un exemple : avec une résistance au glissement égal à 0,1, si on considère la fraction $\frac{R}{R_1}$ comme suffisamment rapprochée de l'unité pour qu'on puisse lui substituer cette valeur 1 ; on aura :

$$\sin \alpha = 0{,}1.$$

L'angle α déduit de cette relation serait 5°45′ environ. Il est vrai que en tenant compte de la fraction $\frac{}{R_1}$ cela augmentera un peu cet angle.

mais pas beaucoup ; car cette fraction ne peut guère dépasser 1,20, ce qui ferait :

$$\sin \alpha = 0{,}12,$$

d'où

$$\alpha = 6^\circ\ 54'.$$

Or, de deux choses l'une, ou bien R sera très-grand, et il ne peut dépasser $1^m{,}500$, ou il sera très-petit, et il ne pourra être moindre de $0^m{,}500$.

Dans le premier cas, l'angle que font entre eux deux rayons consécutifs de la roue est en pratique de 12°. Les aimants ne pourront donc pas faire entre eux un angle de moins de 12°. Il en résultera que l'aimant ne devra fonctionner que pendant une partie de l'arc $\frac{2\pi}{n}$, puisque, s'il fonctionnait tout le temps, il ferait patiner la roue pendant une portion de sa course.

Dans le second cas, l'angle de deux rayons de la roue étant d'au moins 30°, la fraction de course pendant laquelle agirait l'aimant serait encore bien plus petite que tout à l'heure.

Dans une roue de $3^m{,}000$ de diamètre, un point de la jante situé sur un rayon faisant avec la verticale OA un angle de 5° 45′ ne parcourra que $5\ ^m/_m$ dans le sens vertical pendant que l'aimant agira.

Pour que le mouvement puisse être entretenu avec cette disposition, il faudra fournir une force moyenne d'attraction qu'on obtiendra par la relation :

$$F \times 0{,}005 = KP \times 2\pi R \times \frac{12^\circ}{360}$$

qui exprime que le travail moteur est égal au travail résistant. Avec un train de 100 tonnes, en admettant une résistance au roulement de 0,01, on aura :

$$F = \frac{0{,}01 \times 100{,}000 \times 3 \times 3{,}14}{0{,}005} \times \frac{1}{30} = 62{,}800 \text{ kilog.}$$

Nous ne croyons pas possible de produire cette attraction avec des électro-aimants.

Avec une roue de 1 mètre de diamètre seulement on ne diminuerait pas cette force, puisque le parcours de la force dans le sens vertical serait, pendant son action, 0,004 seulement, tandis que le parcours de KP serait à peu près le même qu'avec une roue de $3^m{,}000$ de diamètre.

Du calcul précédent résulte que chaque roue exercerait, sur le rail correspondant, une pression de 31,400 k. On voit quel matériel coûteux cela nécessiterait pour résister à cette pression.

Nous reviendrons plus tard sur une disposition qui se rapprocherait mieux des conditions pratiques.

Il semblerait que l'on pût empêcher le patinage, en aimantant tous les aimants situés d'un même côté de l'essieu moteur. Dans ce cas, à

toutes les forces F résultant de l'action de chaque aimant, on pourr substituer une résultante telle que

$$\varphi\, \delta = \Sigma\, F\, d,$$

et l'équation (4) deviendrait

$$\sin \alpha' = f \frac{R}{R_1}.$$

L'angle α' limite ne varie donc pas, et au contraire la résultante s'écarte de l'axe moteur.

Le principe énoncé par M. de Bruignac n'est donc théoriquem vrai que pour un angle α moindre que 6° 64′ ou 5° 45′, selon le cas; n'est donc pas exact d'une façon absolue, de plus il conduit à une i possibilité en pratique.

Les considérations déduites des conditions d'équilibre nous co duisent donc à rétablir l'équation.

$$F\, d = f\, (P' + F)\, R$$

qui permet de calculer la force P′ nécessaire pour produire l'adhére capable de faire mouvoir le train dans des conditions pratiques.

On pourrait nous objecter que les expérience faites devant la Soci des sciences naturelles de Versailles ont vérifié le principe en questi Mais cet argument perdra de sa valeur si l'on remarque qu'avec le p modèle expérimenté, la force F nécessaire pour faire mouvoir le tr était petite relativement au poids de l'essieu et des roues, et que ce po contribuait puissamment à augmenter l'adhérence.

Aux considérations précédentes on peut en ajouter d'autres bas sur l'économie de frais de traction.

Si nous considérons l'électro-aimant moteur dans une certaine po tion, pendant un temps très-court dt il parcourra un chemin verti dx, très-petit, et on pourra, pendant ce temps, considérer la force comme constante pendant toute la durée de son action.

Le travail élémentaire produit dans ce cas sera :

$$d.T = F\, dx.$$

La force attractive développée par un électro-aimant est inverseme proportionnelle au carré de la distance à laquelle s'exerce son action.

$$F = \frac{M}{x^2},$$

d'où

$$dt = M \frac{dx}{x^2}.$$

Fig. 9.

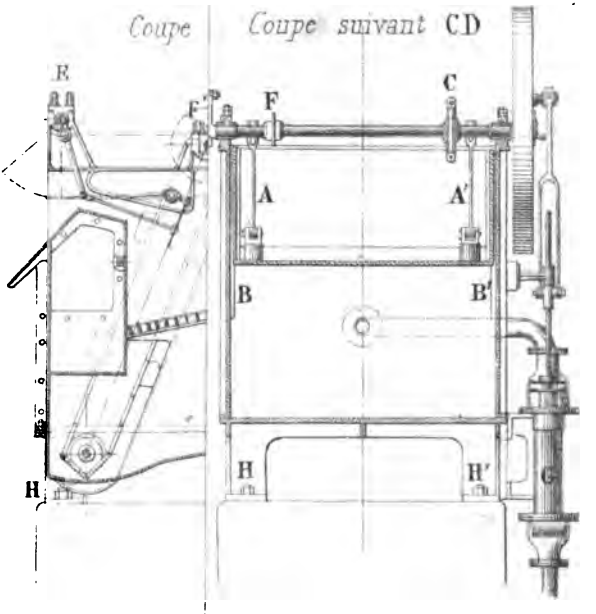
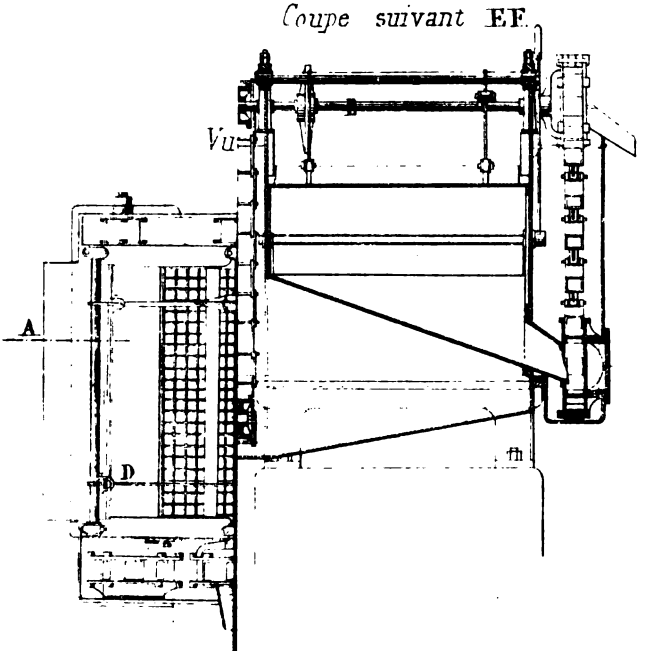


Fig. 10.



Autog. Brotse et Thieffry, R. de Dunkerque. 43 à Paris.

En intégrant on aura :

$$T = M\left(\frac{1}{-x} + c\right)$$

Il nous faudra prendre comme limite les deux cordonnées extrêmes x_1 et x_2.

Comme l'attraction a lieu du pôle de l'électro-aimant au pôle développé dans le rail, ces deux ordonnées seront :

$$x_1 = R_1 (1 - \cos \alpha_1) + a + b$$
$$x_2 = R_1 (1 - \cos \alpha_2) + a + b$$

a, étant la distance du pôle de l'électro-aimant au cercle de contact, et b la distance du pôle du rail à la surface du rail.

Mettons ces deux valeurs limites dans notre intégrale, nous aurons :

$$(5) \quad T = M\left[\frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_2)+a+b)} - \frac{1}{R_1(1-\cos a_1)+a+b}\right]$$

Cette équation nous montre que le travail augmentera quand nous diminuerons le rayon des roues, tout en laissant $\alpha_1 - \alpha_2$, le même. En effet, diminuant R on diminue le dénominateur de la fraction.

Il y aura donc intérêt à faire le rayon aussi faible qu'il sera possible de le faire pratiquement.

Cette expression sera susceptible d'un maximum qu'il sera intéressant de connaître, car en se rapprochant des conditions de maximum, on sera dans de meilleures conditions de rendement.

Pour obtenir ce maximum il faudrait prendre la dérivée de l'équation et l'égaler à 0. Mais comme la dérivée contiendra un sinus et un cosinus du même angle et le sinus et cosinus de cet angle augmenté d'une certaine quantité, nous serons obligé, pour avoir le maximum, de tracer graphiquement la courbe qui résulte de l'équation de la dérivée.

Appliquons cette méthode au tracé de la courbe que représente le travail de la force F dans diverses positions.

Supposons R = 1^{m}500, $\alpha_1 - \alpha_2 = 12°$, nous pourrons former le tableau suivant : en supposant $a + b = 100^m$/

Valeurs de α_2.	Valeurs proportionnelles de T.
$\alpha_2 =$ 0°	2,55
10°	3,27
20°	2,14
30°	1,26
40°	0,73
50°	0,46
60°	0,30

Traçons la courbe de travail en portant les valeurs proportionnelles à T en ordonnées à l'échelle de $0^m,010$ par unité, et les nombres représentant les valeurs de α_2 en abscisses à l'échelle de $0^m,001$ pour un degré, nous obtiendrons la courbe A B C.

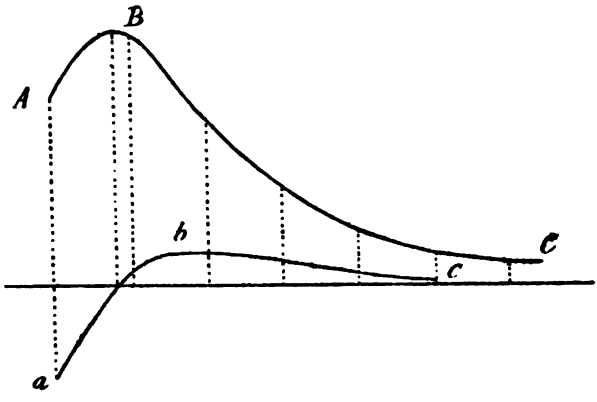


Fig. 2.

Si nous prenons la dérivée de l'équation, 5, nous aurons la fonction

$$y = \left[\frac{\sin \alpha_2}{(R_1(1-\cos\alpha_2)+a+b)^2} - \frac{\sin \alpha_1}{(R_1(1-\cos\alpha_1)+a+b)^2}\right] M.$$

Comme tout à l'heure nous formerons le tableau :

Valeurs de α_2.	Valeurs proportionnelles de y.
$\alpha_2 = 0°$	— 11,6
10°	+ 2,3
20°	+ 4,30
30°	+ 2,70
40°	+ 1,41

Ces nombres nous fourniront la courbe a, b, c, dont les abscisses sont à la même échelle que tout à l'heure, et dont les ordonnées sont à $1^m/m$ pour une unité des valeurs proportionnelles de y.

Cette deuxième courbe nous montre que le maximum de travail correspond à $\alpha_2 = 7°$ environ; elle nous montre aussi que la courbe de travail a un point d'inflexion correspondant à 16 ou 17 degrés, puisque la courbe des dérivées a un maximum en ce point.

De là nous conclurons que, *pour avoir le maximum de rendement, il faudra commencer à aimanter l'électro-aimant quand son rayon vecteur ne fera plus qu'un angle de 19° avec la verticale, et cesser de l'aimanter quand il ne fera plus qu'un angle de 7°.*

Cela nous montre que, outre les conditions impraticables dans les-

quelles on se trouverait si on disposait le mécanisme pour que la puissance de traction fût indépendante de la charge sur l'essieu moteur, on s'éloignerait beaucoup des conditions de rendement maximum, car le travail qu'on utiliserait ne serait que les 75 p. % environ du travail maximun.

Nous ne donnerons qu'un seul exemple de ces courbes de travail qui offrent plutôt un intérêt de physionomie qu'un intérêt de nombre. Nous en avons tracé d'autres qui présentent le même aspect que la précédente.

Comme conclusion nous dirons donc que, si l'on veut se rapprocher des conditions de rendement maximum et éviter une charge considérable sur les rails, *il faudra tenir compte de la charge sur l'essieu moteur pour compléter l'adhérence.*

Il y a une limite, d'ailleurs facile à évaluer, à la charge P que pourrait remorquer un essieu moteur de ce système.

Les équations 2 et 3, combinées ensemble, fournissent la relation

$$\frac{K}{f} P = P' + F \text{ [1]}$$

$$P = \frac{f}{K} r F_1 \qquad (6)$$

équation qui nous fera connaître la limite en question. Cette limite est déduite des considérations de résistance du rail à l'écrasement et à la flexion sous la pression des roues.

En effet, on ne peut, sans augmenter la dépense dans des proportions considérables, accroître les dimensions des rails au delà de certaines limites. De là résulte, pour chaque essieu passant sur le rail, un maximum de charge au delà duquel le rail fléchirait ou le champignon s'exfolierait.

Ces considérations fournissant le maximum de F_1, l'équation 6 nous fournira le maximum de charge P à remorquer par un essieu moteur de ce système.

Cette charge étant connue, on en déduira le nombre d'essieux moteurs nécessaire pour remorquer un train de poids donné.

Ces considérations nous conduisent à la solution la plus pratique à laquelle puisse se prêter le système en question, sous le rapport de l'économie des frais de traction.

Supprimons complétement la locomotive, ou appareil moteur spécial, et plaçons sur tous les essieux de chaque wagon, ou sur un seul essieu par wagon si l'on tient à réduire les frais d'installation de préférence à

1. L'on peut calculer la valeur maximum de F et prendre le rapport $P' + F = rF_1$

d'où $$P = \frac{f}{K} r F_1$$

ceux de traction, un appareil moteur du système de MM. Bellet et de Rouvre; réduisons le plus possible le diamètre des roues de wagons, nous obtiendrons la plus grande économie possible sur la dépense de traction [1].

On augmenterait encore l'économie en faisant les aimants plus faibles et aimantant tous ceux situés d'un même côté de la verticale passant par l'axe de l'essieu.

En effet, quand on aimante à la fois tous les électro-aimants situés en avant de la verticale passant par l'axe de l'essieu, pendant que la résistance parcourt un chemin rectiligne égal au développement de l'arc compris entre deux rayons consécutifs de la roue $2\pi R(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{1}{360^\circ}$, chaque électro-aimant parcourt, sur la jante, un arc correspondant $2\pi R_1(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{1}{360^\circ}$ et le travail moteur résultant de la somme des travaux élémentaires sera

$$T_1 = M\left(\frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_2)+a+b} - \frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_1)+a+b}\right)$$

$$T_2 = M\left(\frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_3)+a+b} - \frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_2)+a+b}\right)$$

. . . . . .

. . . . . .

$$T(n-1) = M\left(\frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_n)+a+b} - \frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_{n-1})+a+b}\right)$$

$$T = M\left(\frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_n)+a+b} - \frac{1}{R_1(1-\cos\alpha_1)+a+b}\right)$$

Les choses se passent donc comme si, pendant que la résistance décrit un chemin horizontal $2\pi R(\alpha_1 - \alpha_2)\frac{1}{360^\circ}$, la puissance décrivait un chemin curviligne $2\pi R_1(\alpha_1 - \alpha_n)\frac{1}{360^\circ}$, un seul électro-aimant fonctionnant à la fois.

Le travail total n'ayant pas changé, puisque le travail résistant est resté

1. Prenons un exemple numérique : L'aimant agissant depuis l'angle de 38° jusqu'à celui de 8°, le chemin vertical parcouru sera 52 $^{m}/_{m}$.

La force moyenne nécessaire pour faire mouvoir un essieu d'un wagon pesant 12,000 kil. tout chargé sera

$$F = \frac{0{,}01 \times 6000 \times 1 + 3{,}14}{0{,}052 \times 12} = 300 \text{ kil. environ,}$$

et pour une seule roue $\frac{F}{2} = 150$ kil., c'est plus réalisable que tout à l'heure.

ce qu'il était avec un seul électro-aimant moteur, et le facteur entre parenthèses ayant augmenté beaucoup, le facteur M doit diminuer.

Nous verrons plus tard que le meilleur moyen d'obtenir cette diminution de M est de diminuer l'intensité de la pile, et comme la dépense est fonction de l'intensité de la pile, elle sera réduite par cette disposition.

Cette disposition exigerait que les aimants pussent osciller de façon à présenter toujours au rail leur face attractive.

Quant à l'état de la science électro-dynamique, sans être encore très-satisfaisant au point de vue industriel, il est moins incomplet qu'on ne pourrait le croire en lisant le mémoire de M. de Bruignac.

Voici quelles sont les données de la science à ce sujet.

Lorsque l'on considère un élément de pile dont les deux pôles sont réunis par un fil assez court pour qu'on puisse négliger la résistance qu'il crée dans le courant, l'intensité du courant développé est proportionnelle aux dimensions de l'élément zinc de la pile, et la dépense est proportionnelle à l'intensité.

Dans ces conditions l'intensité du courant est exprimée par la relation.

$$I = \frac{E}{L},$$

E étant la force électro-motrice du courant et L la longueur réduite de la pile.

L'expression générale de la longueur réduite est :

$$L = \frac{L_1}{K\,S}. \qquad (7)$$

L_1 étant la longueur s'il s'agit d'un fil conducteur, S est la section transversale au courant, et K est la quantité d'électricité qui passerait pendant le temps 1, à travers le fil de section 1, et de longueur réduite 1, la différence de tension aux deux bouts du fil étant aussi 1.

Si entre les pôles d'une pile on interpose un fil dont la longueur réduite λ ne doive plus être négligée relativement à la longueur réduite L de la pile, l'intensité du courant deviendra

$$I = \frac{E}{L+\lambda};$$

elle diminuera. Mais cette diminution ne sera sensible que si λ est très-grand, car la longueur réduite d'une pile est considérable.

L'intensité du courant étant diminuée, la dépense qui lui est proportionnelle le sera aussi; cela explique ce fait énoncé par M. Foucault, que la dépense diminue quand la longueur du fil augmente.

Quand on dispose de plusieurs éléments de pile, on pourra les réunir ensemble, soit en tensions, soit en quantités. La réunion en tension consiste à les relier en mettant en contact deux pôles de nom contraire, la réunion en quantité consiste à les relier de façon que tous les pôles de même nom communiquent au même électrode.

Si tous les éléments sont réunis en tensions, l'intensité du courant sera, si tous les éléments sont identiques,

$$I = \frac{nE}{nL} = \frac{E}{L}.$$

L'intensité du courant est donc restée ce qu'elle était avec un seul élément. Mais la dépense a cru proportionnellement au nombre des éléments.

Si on a réuni les éléments en quantités, la relation précédente deviendra :

$$I = \frac{E}{\frac{L}{n}} = \frac{nE}{L}.$$

L'intensité aura donc augmenté proportionnellement au nombre des éléments, comme la dépense.

Si on interpose dans le courant un fil de longueur réduit λ, on aura :

$$I = \frac{nE}{nL + \lambda}, \tag{8}$$

pour les éléments réunis en tensions,

$$I = \frac{E}{\frac{L}{n} + \lambda} = \frac{nE}{L + n\lambda} \tag{9}$$

pour les éléments réunis en quantités.

Les deux relations 8 et 9, comparées ensemble, nous montrent que le fil a une influence bien plus grande sur le courant dans le second cas que dans le premier.

On devra choisir l'un ou l'autre des deux modes de réunions, selon les résistances que le courant aura à vaincre. Ainsi, si la longueur réduite du fil et celle de la pile étaient égales, peu importerait le mode de réunion des éléments que l'on adopterait. Si $\lambda < L$ la réunion en quantités devra être préférée, et si $\lambda > L$ on devra choisir de préférence la réunion en tensions. De cette façon on aura l'intensité maximum.

Ces développements montrent bien les relations qui existent entre la dépense, l'intensité du courant, les dimensions de la pile et celles du fil ; ils résultent des lois que Ohm a publiées.

Voyons maintenant les relations qui existent entre l'intensité du cou-

rant, les dimensions du fil conducteur, celles de l'électro-aimant, et la force attractive au contact qu'il peut développer.

Ces différentes quantités sont reliées entre elles par la formule de MM. Lenz et Jacobi.

$$m = k.n.I\sqrt{D} \qquad (40)$$

dans laquelle m est la force attractive au contact, k un coefficient qui dépend de la nature du métal de l'électro-aimant et de son degré de pureté, n, le nombre des spires que fait le fil conducteur sur la bobine; I, l'intensité du courant agissant. D, le diamètre du barreau de l'électro-aimant.

Toutefois, il y a deux choses dont cette relation ne tient pas compte.

L'action des spires diminue à mesure que leur distance au barreau augmente.

Lorsque la longueur du barreau croît, les fils placés au milieu de la longueur n'augmentent que peu ou point l'action attractive, selon la longueur du barreau.

Ce fait explique pourquoi MM. Bellet et de Rouvre ont remarqué une augmentation de force attractive d'abord proportionnelle à la longueur des branches de l'électro-aimant, puis, au delà d'une certaine limite, croissant moins vite que la longueur des branches de l'électro-aimant.

L'équation 40 montre donc que la force attractive développée est proportionnelle :

1° Au nombre des spires du fil ;

2° A l'intensité du courant ;

3° A la racine carrée du diamètre du barreau de fer, c'est-à-dire à la racine quatrième de sa section transversale.

Si la loi des attractions électriques, en raison inverse du carré des distances, semble ne pas se vérifier dans tous les cas, c'est parce qu'au lieu de faire intervenir la distance des pôles on ne prend que celle des faces en présence.

Nous avons déjà dit que pour le nombre des spires il y avait une limite, il y en a aussi une pour l'intensité du courant.

En effet, si on prend deux axes rectangulaires et qu'on porte en abscisses les valeurs successives de n I, et en ordonnées les valeurs correspondantes de m, on obtiendra, en joignant tous les points ainsi déterminés, une courbe qui montre que, au delà d'un certain point, on a beau augmenter n I, la valeur de m n'augmente plus sensiblement. Cela a lieu quand le fer est à son maximum d'aimantation, quand il est saturé, en un mot.

La longueur et le diamètre du fil influent aussi en ce sens que, avec un fil fin, on pourra augmenter le nombre des spires, ce qui tend à

faire croître m; mais il faut bien remarquer que dans ce cas la longueur réduite du fil augmente rapidement.

$$\lambda = \frac{L}{K S}$$

puisqu'elle est proportionnelle à la longueur L du fil et inversement proportionnelle à sa section S; donc, si on fait croître L et décroître S, λ augmente très-rapidement.

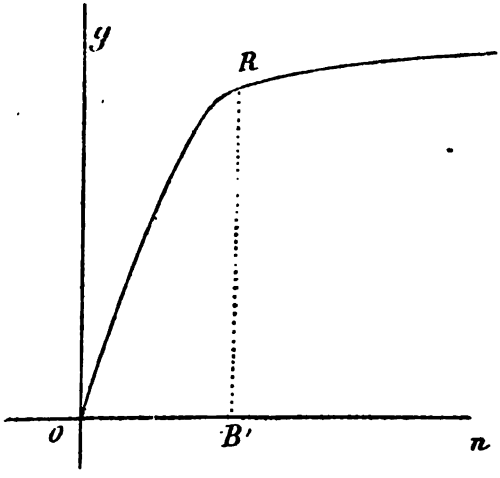


Fig. 3.

Si λ croît, I diminuera, puisque

$$I = \frac{n E}{n L + \lambda} \text{ ou } I = \frac{n E}{n L + n \lambda}$$

Par suite, si d'un côté m croît quand n augmente, elle décroît par suite de la diminution de I, et comme le nombre des spires qu'on peut mettre sur un électro-aimant donné croît moins vite que λ ne décroît, on atteindra une limite au delà de laquelle la diminution du diamètre du fil produira une décroissance de la force m.

On voit que la longueur réduite du fil joue un grand rôle dans cette théorie. Cette quantité est inversement proportionnelle à la conductibilité électrique du métal. Si on représente par 1000 la conductibilité de l'argent, on pourra former le tableau suivant :

Argent	1000
Cuivre	940
Or.	800
Laiton.	250
Fer	126

Ces nombres montrent l'influence que peut avoir le choix du fil conducteur sur la force attractive.

MM. Bellet et de Rouvre ont disposé leur appareil de façon que la pile soit immobile à une station, le courant électrique étant transmis au moteur à l'aide de deux fils situés sur la voie.

De là résulte une augmentation considérable de la longueur réduite du fil à mesure que le train s'éloigne, et par suite la force attractive des aimants va en décroissant.

C'est donc là une disposition à abandonner en pratique.

De la discussion précédente il résulte que, avec un fil de longueur donnée et un courant d'intensité donnée, il pourra y avoir intérêt à faire plusieurs électro-aimants, au lieu de tout concentrer sur un seul. Cela aura lieu lorsque, en concentrant tout sur le même électro-aimant, on dépasserait pour nI la valeur correspondant au point B de la courbe précédente, ce qui n'est pas à redouter avec la disposition que nous proposons de placer un appareil de ce système sur chaque essieu de wagon, parce que les électro-aimants étant relativement petits, à cause du peu d'efforts qu'ils auront à développer, le produit nI atteindra une valeur suffisante avant que le fer soit saturé.

L'interposition dans le courant de plusieurs aimants fait diminuer la dépense, puisque l'intensité du courant diminue. Cela n'est vrai que dans l'état statistique; quand les aimants produisent un travail mécanique, cela n'est plus exact.

Quant à la dépense d'une pile produisant un travail mécanique, les physiciens admettent qu'elle est la même que si, avec le zinc comme combustible, on produisait la vapeur nécessaire pour effectuer le même travail, à part, bien entendu, les considérations de rendement des moteurs.

C'est par un raisonnement basé sur des analogies que l'on arrive à cette conclusion, car on n'a pas d'expériences qui fassent toucher du doigt cette identité. Jusqu'à nouvel ordre, nous admettons, comme eux, que la chaleur et l'électricité ne sont que deux modes d'action différents d'un même agent; et nous en conclurons que les efforts des chercheurs, au lieu de se tourner vers des applications plus ou moins ingénieuses des moyens actuellement connus de produire de l'électricité, devront tendre vers la découverte d'un générateur électrique plus économique.

Nous croyons avoir réussi à démontrer que le fait annoncé par M. de

Bruignac, comme rigoureusement vrai, ne l'est ni en théorie ni en pratique, et nous pensons avoir clairement indiqué les relations, qui sont connues, entre les divers éléments de la puissance électrique.

Qu'on nous permette, en terminant, de remercier de leur obligeance M. de Mastaing, qui a bien voulu nous donner quelques bons avis, ainsi que M. Daniel, professeur de physique à l'École centrale, qui nous a fourni une grande partie des développements que nous avons donnés sur l'électro-dynamie.

OBSERVATIONS

SUR LA NOTE DE M. ROUYER,

RELATIVE A LA

Machine électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre,

PAR M. DE BRUIGNAC.

M. Rouyer, dans sa note sur la locomotive électrique de MM. Bellet et de Rouvre, s'est proposé deux choses : « Rectifier quelques erreurs, et montrer sous son vrai jour la question des moteurs électriques. »

L'erreur principale que combat M. Rouyer consiste en ce que j'ai dit, que « la puissance locomotrice est indépendante de la pression de la locomotive sur la voie; indépendante, par conséquent, du poids de la locomotive. » Je reconnais que j'ai fait usage d'expressions inexactes; mais je n'aurais pas cru qu'il pût y avoir malentendu sur ma véritable pensée. Voici, ce me semble, le sens que M. Rouyer lui attribue : Étant donnée une locomotive électro-magnétique d'un poids quelconque, ce poids n'intervient en rien dans les conditions d'équilibre du système. Il suffisait de traduire de la sorte en termes précis la pensée que M. Rouyer croyait mienne, pour que l'évidence seule en fît justice.

M. Rouyer a adopté un procédé plus long : après avoir posé les équations d'équilibre, il écrit que la réaction verticale due au poids est nulle; il traite les équations modifiées de la sorte, et conclut ainsi : « Le principe énoncé par M. de Bruignac conduisant à ce que l'on peut appeler pratiquement une impossibilité, nous en concluons qu'il n'est pas exact. »

J'ai dit qu'à mon avis M. Rouyer pouvait obtenir cette conclusion beaucoup plus vite; je crois aussi qu'il aurait pu conclure plus rigoureusement; car, de ce qu'il arrivait à des impossibilités pratiques, il s'ensuivait tout aussi bien que « mon principe » était juste, mais le système étudié impraticable.

Voici quelle était ma pensée, que je crois encore juste : Dans les locomotives ordinaires, le poids sur l'essieu moteur est une condition essentielle de traction. Dans la locomotive électro-magnétique ce poids joue un rôle parfois indispensable, mais partiel. Une traction importante a

lieu, même si l'on suppose le poids de la locomotive nul. Par conséquent, dans ce système, on peut avoir des locomotives sensiblement moins lourdes que dans le système ordinaire, ce qui est un sérieux avantage.

M. Rouyer aborde donc l'étude d'une locomotive électro-magnétique *théorique* dont le poids serait nul. C'est un aperçu que je crois utile pour montrer la limite théorique des ressources spéciales du système; mais il serait impossible d'y baser un jugement définitif.

En outre, je trouve dans ce calcul de M. Rouyer quelques détails dont je n'aperçois pas la justesse :

M. Rouyer prend 0,1 pour coefficient moyen d'adhérence des roues motrices. N'est-ce pas plutôt 0,17 qu'il faudrait dire? — M. Rouyer en conclut que l'angle d'attraction utile α est 5°-45′ ou 6°-54′.

M. Rouyer paraît poser en principe que le rayon de la roue motrice doit varier de 1^{m},50 à 0^{m},50. Ce sont des limites vraisemblables; mais, après tout, le calcul et les exigences de constructions décideront seuls.

M. Rouyer admet que, dans le premier cas, l'angle des rayons égale 12°, et 30° dans le second cas, ce qui ne permet d'attraction utile que pendant une fraction faible de ces angles. — C'est, je crois, d'après les usages de construction des roues motrices. Mais faut-il s'y astreindre *à priori* dans le cas tout spécial que nous étudions, en présence des graves inconvénients qui en résulteraient, et puisqu'il ne s'agira que de resserrer cette limite? Je ne saurais l'admettre.

Pour calculer l'attraction magnétique nécessaire à une roue motrice de 3 mètres pour traîner 100 ^{t}, M. Rouyer pose :

$$F.\,0{,}005 = KP.\,2\pi R.\,\frac{12°}{360°},$$

d'où F = 62,800 kilog., ce que M. Rouyer croit pratiquement impossible.

C'est beaucoup, en effet, pour vaincre une résistance de 900 à 1,000 kil. Toutefois, examinons :

Avec l'angle de 5°-45′, que considère M. Rouyer, le chemin vertical parcouru par F est 0^{m},005 *pour un rayon de 1 mètre;* mais, pour le rayon de 1^{m},50, c'est 0^{m},0075. — Ensuite j'ai dit que, selon moi, l'angle des rayons n'était pas 12°, mais bien 5°-45, l'angle d'attraction utile α désigné par le calcul. En tout cas, admît-on l'angle de 12° pour les rayons, il resterait toujours que, lorsque le roulement est $2\pi R \times \frac{5°-45'}{360°}$, le déplacement du centre lui est égal; et la formule de M. Rouyer demeure inexacte. Je poserais donc en nombres ronds :

$$F = \frac{0{,}01 \times 100000 \times 2 \times 1{,}50 \times 3{,}14}{0{,}0075} \times \left(\frac{5°-45'}{360°} = \frac{1}{60}\right) = 20{,}938^{k}.$$

C'est déjà beaucoup moins.

En outre, voici comment j'établirais le calcul; je prendrais simplement l'équation des moments $F\,d = KPR$ et la condition $f = 0{,}17$. Dans l'hypothèse $P' = o$, on a pour l'équilibre $fF = KP$;

d'où $$\frac{KP}{F} = \frac{d}{R} = \sin\alpha = f;$$

d'où $$\alpha = 9°\text{-}50' \text{ et } F = \frac{KP}{0{,}17},$$

c'est-à-dire :

$$F = 5^k{,}292 \text{ si } K = 0{,}009,$$

$$F = 5^k{,}880 \text{ si } K = 0{,}01, \text{ comme l'a admis M. Rouyer.}$$

Par une suite de calculs intéressants, M. Rouyer arrive à conclure qu'on n'utiliserait que 75 p. 100 du travail maximum « si on *disposait* le mécanisme *pour* que la puissance de traction fût indépendante de la charge sur l'essieu moteur. » — C'est toujours le même malentendu sur ma pensée; mais à quel degré!

Plus loin : « MM. Bellet et de Rouvre ont disposé leur appareil de façon que la pile soit immobile à une station. C'est donc là une disposition à abandonner en pratique. » MM. Bellet et de Rouvre n'ont pas adopté cette disposition d'une manière générale, mais pour un cas spécial, où la considération d'économie est très-secondaire.

Plus loin : « La loi d'attraction électrique en raison inverse du carré des distances ne semble pas se vérifier, parce qu'on ne prend pas la distance des pôles. » Cette allégation me paraît arbitraire; comment la prouve-t-on?

M. Rouyer aborde plusieurs faits de la science électro-dynamique pour compléter ce que j'en ai dit; je ne ferai qu'une observation : Tous ces faits comportent la remarque générale que j'ai déjà exprimée; ce sont des rapports et des proportions, bien plus que des bases fixes et industriellement pratiques.

M. Rouyer suggère de remplacer la locomotive électro-magnétique par des appareils analogues beaucoup plus faibles adaptés à chaque voiture. Cette idée mérite d'être étudiée; mais son importance devient beaucoup moindre si les calculs doivent se modifier comme je l'ai indiqué.

Faute de temps pour les approfondir, je laisse de côté plusieurs points de la note de M. Rouyer, que je trouve trop incomplets, et d'autres qui ne me paraissent pas indiscutables; par exemple, l'aperçu sur l'avantage d'aimanter plusieurs aimants à la fois (là seulement il faudrait toute une étude théorique et expérimentale); les conditions de travail maximum.

Je voudrais soumettre à la Société une observation générale : Dans la discussion qui nous occupe, quelques opinions se sont produites sous une forme si arrêtée qu'elles semblent épuiser la question et la juger sans appel, tandis qu'en réalité nos études ont été trop rapides et trop peu complètes pour donner, en tous points, des résultats certains et indiscu-

tables. N'y a-t-il pas là un réel danger? Ne risquerions-nous pas ainsi, avec l'influence que nos discussions possèdent justement, d'écarter trop vite une idée neuve, de décourager de louables efforts? C'est un écueil que nous tenons tous à éviter; nous ne voulons pas louer précipitamment, mais nous ne voulons pas non plus paralyser prématurément une idée par des critiques trop absolues et trop hâtées.

J'aborde quelques remarques sur la discussion du 2 juin, que j'allais exprimer lorsque la note de M. Rouyer nous a été promise :

« M. Farcot croit se rappeler que, dans toutes les machines mues par les courants électriques expérimentés jusqu'à ce jour, on a remarqué que chaque changement dans la direction des courants donnait lieu à des pertes importantes. Il conclut de là, etc. » — Dans le cas actuel, le courant ne change pas de direction; il est seulement interrompu.

M. Ermel... demande si la machine consommerait plus au repos qu'en marche? — Je laisse les considérations théoriques que l'on a suffisamment indiquées, mais voici une remarque toute pratique qui m'a échappé sur le moment : Au repos on interromprait mécaniquement le fonctionnement des piles.

J'arrive à l'objection de MM. Brûll et Limet, qui condamnent tout moteur, même électrique, consommant du zinc, parce que le zinc est un combustible plus cher que le charbon. M. Limet surtout, s'appuyant sur Liebig, a conclu dans des termes si absolus, qu'il ne reste plus, semble-t-il, un seul mot à ajouter; toute discussion sur la machine électromagnétique, au point de vue de la grande traction, lui paraît superflue.

En est-il cependant ainsi? et la pensée de Liebig lui-même est-elle aussi absolue que M. Limet l'a cru en lisant seulement quelques passages d'une lettre qui n'est peut-être pas partout complétement méthodique ni précise? Je suis obligé de citer plus au long :

Dans sa dixième lettre, Liebig compare précisément le moteur à vapeur et le moteur électrique au point de vue de l'économie :

« ..... Lequel des deux moteurs est le plus économique?... Six livres « de carbone sont l'équivalent de 32 livres de zinc. Ces nombres expri- « ment des valeurs d'effets tout à fait générales qui se rapportent à tou- « tes les activités que ces corps peuvent manifester. » L'effet peut se produire de deux manières : « En brûlant le zinc sous une chaudière de « machine à vapeur au lieu de le brûler dans une pile galvanique... Sup- « posons maintenant (ce qui n'est nullement démontré) que la quantité « de force soit inégale dans les deux cas... Six livres de zinc, en se com- « binant avec l'oxygène, ne développent pas plus de chaleur qu'une livre « de charbon; nous pouvons donc produire, *dans des conditions égales* « avec une livre de charbon, six fois autant de force qu'avec une livre « de zinc... Il serait plus avantageux d'employer du charbon au lieu de « zinc, lors même que celui-ci développerait, dans la pile galvanique, « quatre fois autant de force qu'un poids égal de charbon en fournit par

« sa combustion sous une chaudière... » « *Il est bien probable* » que l'on obtiendra plus de force en brûlant le charbon qu'en employant le zinc dans quelque appareil que ce soit..... « Chaleur, électricité, magné- « tisme, sont réciproquement dans des rapports analogues à ceux des « équivalents chimiques du carbone, du zinc et de l'oxygène.... Un « aimant agit comme un rocher au repos qui pèserait de 1,000 livres « sur son appui, c'est l'eau d'un lac fermé de toutes parts et qui n'a pas « d'issue. Cependant... on a su lui donner un écoulement et une « chute; c'est ce que je regarde comme le triomphe de la mécanique... « Toutefois il demeure certain que, en dehors de la chaudière à vapeur, « il ne sera pas apporté le moindre changement à nos machines, et que « une livre de charbon sous cette chaudière peut, en ce moment, « mettre en mouvement une masse plusieurs centaines de fois plus con- « sidérable que celle que peut mouvoir une livre de zinc dans une pile « galvanique. Nos espérances dans ce moyen d'obtenir de la force mo- « trice sont encore trop récentes pour qu'on puisse prévoir ce qui en ré- « sultera. Puissent ceux qui se sont proposé de résoudre ce problème « ne pas se laisser décourager !... Il y a une autre manière de faire ser- « vir l'électro-magnétisme sur nos chemins de fer à un but d'une très- « haute importance. Imaginons-nous en effet une disposition par laquelle « nous puissions convertir à volonté les roues de la locomotive en « aimants puissants; alors nous gravirions avec facilité toutes les hau- « teurs. Cette proposition, faite par M. Weber à Gœttengen, portera ses « fruits. »

La lettre que je viens de citer en partie n'offre pas toujours, on le voit, les indications bien claires ni bien concordantes en apparence; cepen- lant on peut en dégager les résultats suivants :

1° Bien que le zinc soit un combustible inférieur au charbon *lorsqu'on s brûle à l'air*, rien ne *prouve* encore que le zinc employé dans la pile ne oit pas préférable au charbon brûlé à l'air.

2° Il n'est pas démontré que le zinc brûlé dans la pile développe la ême quantité de force que le zinc brûlé à l'air.

3° L'électro-dynamie n'est pas jugée comme force motrice et locomo- rice ; il faut poursuivre avec courage les recherches dans ce sens.

On voit la différence qui existe entre l'appréciation de Liebig et celle e M. Limet.

Notons ici le fait rapporté par M. Jamin (III. 179), que diverses sortes e couples ont des rendements calorifiques très-différents. Je m'associe leinement à l'opinion de M. Rouyer, qu'il faut tendre vers un généra- ur électrique plus économique.

D'après M. Rouyer, les physiciens admettent généralement que, indé- endamment des moteurs, « la dépense d'une pile produisant un travail écanique... est la même que si, avec le zinc comme combustible, on roduisait la vapeur nécessaire pour effectuer le même travail. » Toute-

fois, ajoute avec justesse M. Rouyer, « c'est par un raisonnement basé sur des analogies que l'on arrive à cette conclusion, car on n'a pas d'expérience qui fasse toucher du doigt cette identité. »

Je n'ai pas pu recueillir l'opinion générale des physiciens, mais est-elle aussi radicale que le pense M. Rouyer, et ne serait-il pas plus exact de l'exprimer ainsi : Indépendamment des organes d'utilisation, la combustion d'un corps à l'air ou dans la pile dégage la même chaleur, et l'électricité produite lui est proportionnelle.

Les lois acquises ne permettent pas, je crois, d'affirmer davantage. Est-il établi d'une manière quelconque que le travail dont une quantité d'électricité est capable soit égal au travail que développerait la chaleur correspondante autrement utilisée?

Cette distinction est importante; elle me paraît le point saillant de la question électro-motrice, et je ne vois rien qui permette encore de le trancher.

Il semblerait même résulter de certains faits que l'électricité pourrait développer un travail très-supérieur à celui que réaliserait directement la chaleur qui lui correspond. En effet, la quantité d'électricité dégagée dans les actions chimiques est énorme. En voici deux exemples :

M. Becquerel a constaté que l'oxydation d'une quantité d'hydrogène, pouvant donner un milligramme d'eau, dégage suffisamment d'électricité pour charger 20,000 fois une surface métallique d'un mètre carré, à un degré tel que les étincelles résultant de la décharge éclatent à un centimètre de distance. D'ailleurs M. Regnault établit (I, 117) que 100 grammes d'eau contiennent $11^{g},13$ d'hydrogène; donc 1 milligramme d'eau contient $\frac{11^{g},13}{100,000} = 0^{g},0001113$ d'hydrogène. Dulong a trouvé que 1 kil. d'hydrogène, en brûlant, dégage 34,600 calories; par conséquent, $0^{g},0001113$ d'hydrogène, en brûlant à l'air, dégageraient

$$\frac{34\,600}{1000 \times 10,000} = 0^{cal},00346 \textit{ environ.}$$

Par conséquent, 3 à 4 millièmes de calories produiraient autant de travail que la quantité d'électricité nécessaire pour charger fortement une surface métallique de 2 hectares. L'électricité serait donc, comparativement à la chaleur, un agent bien faible?

M. Jamin (*Physique*, III, 60) résume ainsi un mémoire de MM. Weber et Kolhrausch : « Les deux masses de fluides contraires qui, par leur circulation dans un voltamètre, décomposent 9 grammes d'eau, étant accumulées sur deux armatures de 1·137·000 mètres carrés (113 hectares), feraient explosion à un mètre de distance, et, sur deux nuages distants de 1,000 mètres, exerceraient une attraction de 2·268·000·000 kilog. » Si j'admets, comme les lois posées par M. Becquerel me paraissent l'autoriser, que la décomposition de l'eau exige la même quantité d'élec-

tricité que celle dégagée par l'oxydation de l'hydrogène formant le même poids d'eau, la réaction dont il s'agit correspondrait à une émission calorifique de 35 calories environ. Si, d'ailleurs, j'essaie de transformer ce résultat sans m'astreindre à un calcul rigoureux, je supposerai que les nuages ainsi attirés se rapprochent d'un mètre par seconde, sans variation dans leur vitesse ni dans la force d'attraction. Dans ce cas, ils se rejoindraient en 16 minutes environ, accomplissant une somme de travail égale à celui d'une machine de 756,000 chevaux, qui fonctionnerait pendant dix heures.

Je ne donne pas ces exemples pour une démonstration; mais ils me semblent curieux et capables de suspendre la conclusion assez absolue que M. Rouyer a citée.

Je vais rappeler brièvement quelques avantages spéciaux de la locomotive électro-magnétique que j'ai laissés trop inaperçus dans ma précédente communication :

1° Aptitude à une grande accélération. — En effet, si les aimants sont très-voisins, la force est sensiblement constante. D'ailleurs, les résistances à l'accélération sont moindres que dans les locomotives à vapeur. La résistance de l'air est la même; mais le mécanisme, à peu près nul, ne s'oppose presque à aucune vitesse. On peut arriver sans doute à produire le fer assez doux pour que la promptitude de désaimantation suffise à toutes les vitesses désirables en pratique. Voilà donc réunies les conditions propres à une grande accélération.

2° Économie due : 1° Au stationnement sans frais. Par le seul fait que l'on peut isoler les éléments des couples. 2° A la mise en marche sans dépense spéciale; 3° à la diminution importante du poids de la locomotive pour un train donné.

Un point capital est de savoir si la dépense est indépendante de la vitesse. Je n'insiste pas sur la démonstration directe qui me paraît frappante, mais non pas rigoureuse. C'est à ce sujet, notamment, que des expériences approfondies me semblent bien désirables. Nous avons entendu, de M. Foucault, des explications très-importantes. Je rappellerai deux lois qui me paraissent appuyer ce fait : M. Joule a démontré « que la quantité de chaleur développée... est toujours proportionnelle à la quantité d'électricité mise en circulation, et que cette quantité de chaleur reste la même, *que la résistance soit nulle ou infinie...* » M. Becquerel a exprimé le même fait, ce me semble, en disant que l'élévation de température est la même dans toute l'étendue du fil, *quelle que soit sa longueur*, pourvu que son diamètre soit constant et qu'il passe la même quantité d'électricité. J'ai parlé précédemment des électro-aimants, qui font peu varier la dépense de la pile, qu'ils soient ou non en présence de leur armature; que dira-t-on d'un aimant naturel qui peut agir constamment, sans que sa force diminue sensiblement? On répondra peut-être qu'il s'alimente dans le réservoir commun d'électricité? Toujours est-il qu'au

point de vue commercial, c'est une force constante qui ne coûte rien. Malheureusement, je n'aperçois pas comment on pourrait l'appliquer à la locomotion. Il est généralement vrai qu'un travail exige une force qui coûte à produire; mais il n'en est pas toujours ainsi *industriellement*, par exemple, lorsqu'on utilise les forces que fournit la nature, telles que le vent, une chute d'eau, etc. L'électricité n'a-t-elle rien de commun avec ce genre de forces?

De tout ceci, je ne conclurai qu'une chose : c'est que l'électricité paraît encore se plier mal à tous les principes admis pour plusieurs agents industriels, et qu'il est dangereux de raisonner par analogie entre des ordres si divers.

Les lois posées par les physiciens précisent certains points; mais elles sont loin de tout fixer et laissent un large champ aux hypothèses. Ne jugeons pas en dehors de la limite des lois.

La chaleur et l'électricité ne sont-elles réellement que deux modes d'action différents d'un même agent? Ou bien sont-elles distinctes? Se produisent-elles l'une l'autre? L'une est-elle comme le véhicule ou comme un excitateur de l'autre? Quelle parenté existe-t-il entre la chaleur, l'électricité et le magnétisme?...

Tout cela est du domaine de l'hypothèse, trop vaste encore pour ne pas contenir beaucoup d'imprévu.

Selon moi, le véritable état de la question se résume ainsi :

1° La question générale de la traction électro-magnétique est encore trop peu connue pour qu'on puisse la juger. Il serait aussi imprudent de prophétiser absolument son succès que d'affirmer son impossibilité pratique.

2° Le système de locomotion électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre est évidemment efficace dans certaines limites, et peut être préférable à tout autre dans certains cas.

3° Les études et les essais que les inventeurs poursuivent méritent sympathie et encouragement. C'est le sentiment de Liebig lui-même, qui l'a hautement manifesté.

Paris. — Imprimerie de P.-A. Bourdier et C°, rue des Poitevins, 6.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

(OCTOBRE, NOVEMBRE, DÉCEMBRE 1865)

N° 32

Pendant ce trimestre, on a traité les questions suivantes :

1° *Raccordement rationnel des voies courbes avec les voies droites*, par M. Chavès (séance du 6 octobre, page 407).

2° *Chemin de fer expérimental du Mont-Cenis*, système Fell, par M. Desbrière (séances des 6 octobre et 17 novembre, pages 408 et 426).

3° *Machine électro-magnétique* de MM. L. Bellet et Ch. de Rouvre (séances des 6 et 20 octobre, pages 414 et 417).

4° *Gisements de Pétrole dans les Karpathes* (séances des 20 octobre et 17 novembre, pages 416 et 425).

5° *Production artificielle du froid* par les appareils Carré, par M. Rouart (séance du 3 novembre, page 420).

6° *Égout collecteur* (séances des 17 novembre et 1er décembre, pages 423 et 430).

7° *Écoulement des corps solides*, par M. Tresca (séance du 17 novembre, page 426).

8° *Engrais humain*, par M. Renard (Lucien) (séance du 1er décembre, page 432).

9° *Ouvrage d'art d'un nouveau type*, par M. Flavien (séance du 1er décembre, page 433).

10° *Chaudière Field,* par M. Rouyer (séance du 1er décembre, page 434).

11° *Alimenteur régulateur automoteur* de MM. Valant frères et Ternois, par MM. Jousselin et Tronquoy (séance du 1er décembre, page 436).

12° *Outillage et enrichissement des minerais*, mémoire de MM. Huet et Geyler, analyse par M. Goschler (séance du 1er décembre, page 437).

13° *Grues roulantes* employées au chemin de fer du Nord pour le chargement des pierres de taille, par M. Alquié (séance du 1er décembre, page 437).

14° *Situation financière de la Société* (séance du 15 décembre, page 439).

15° *Élection des membres du bureau et du Comité* (séance du 15 décembre, page 440).

Pendant ce trimestre, la Société a reçu :

1° De M. Paul Garnier, une note sur *l'exploitation du chemin de fer de Liverpool à Manchester en* 1833.

2° De M. Desbrière, membre de la Société, un *mémoire sur les expériences faites par M. Fell pour la traversée du Mont-Cenis au moyen d'un chemin de fer à rail central.*

3° De M. le gouverneur de la ville d'Odessa, le *plan du port de cette ville.*

4° De M. Lefèvre Eugène, membre de la Société, un mémoire sur le *Tunnel de Lustin.*

5° De MM. Huet et Geyler, membres de la Société, une note sur l'*Outillage appliqué dans les procédés d'enrichissement des minerais.*

6° *De la Compagnie universelle du canal maritime de Suez,* un exemplaire du rapport présenté à l'assemblée générale des actionnaires.

7° *De la Société des anciens élèves des écoles impériales d'arts et métiers*, un exemplaire de son *Annuaire* de l'année 1865.

8° *De la Société académique d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube,* un exemplaire de ses *Mémoires.*

9° De M. Petitjean, membre de la Société, un exemplaire de *Il Canal attraversò l'isthio di Suez,* de la part de l'auteur, M. Kramer.

10° De MM. Haldy Ruchling et C^e^, fondeurs, un exemplaire de leur album.

11° De M. Javal, membre de la Société, une traduction d'un mémoire anglais sur la *construction des câbles télégraphiques sous-marins.*

12° De M. Georges Lommel, ingénieur : 1° un exemplaire d'une *Étude critique des divers systèmes proposés pour le passage des Alpes suisses par un chemin de fer;* 2° un exemplaire d'une *Étude comparative du Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, et de la valeur technique et commerciale des voies ferrées projetées par ces passages Alpins Italo-Suisses;* 3° un exemplaire d'un mémoire publié par le comité du Lukmanier sur *la position technique, commerciale et financière du Lukmanier comparée à celle du Saint-Gothard.*

13° De M. Beaudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite, un exemplaire d'une note sur un *Palais permanent pour l'Exposition universelle de* 1867.

14° De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de son *Guide pratique des alliages métalliques.*

15° De M. De La Rochette, membre de la Société, un exemplaire de son *Album de la Compagnie des hauts fourneaux et fonderies de Givors.*

16° De M. Goschler, membre de la Société, un exemplaire du tome deuxième de son *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer* (*service de la voie*).

17° De M. E. Tissot, un exemplaire de son *Étude géologique de l'isthme de Suez.*

18° Un exemplaire de l'*Album de fers spéciaux* de la Société des forges et fonderies de Montataire.

19° De M. Benoît Duportail, membre de la Société, une note sur la *nouvelle méthode d'enseignement du dessin,* de M. Hendrirkx, professeur à l'Académie de Bruxelles.

20° De M. Simonin, membre de la Société, un exemplaire de sa notice sur la *Richesse minérale de la France.*

21° De MM. Petitgand et Ronna, un exemplaire du troisième volume du *Traité complet de Métallurgie,* par le docteur Percy.

22° De M. Flavien, membre de la Société, une *note sur un nouveau type d'ouvrage d'art.*

23° De M. Lucien Renard, membre de la Société, plusieurs publications dans lesquelles se trouvent des rapports sur *l'engrais humain*.

24° De M. Weil, membre de la Société, un exemplaire d'une notice sur les *nouveaux procédés ayant pour but de revêtir les métaux d'une couche adhérente et brillante d'autres métaux*.

25° De M. Vériot, un exemplaire d'une notice sur la *réduction du tarif des voyageurs des chemins de fer*.

26° De M. Cialdi, des exemplaires de *trois de ses ouvrages*.

27° De M. Turck, membre de la Société, un mémoire sur *les appareils fumivores*.

28° Les numéros 1 à 4 de 1865 du journal *Organ furdie Fortschritte dis Tisenbahuwesens*.

29° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *le Cosmos*.

30° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la revue *la Presse scientifique*.

31° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la revue *les Mondes*.

32° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *The Engineer*.

33° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du bulletin de la *Société d'encouragement*.

34° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du bulletin de la *Société de géographie*.

35° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du bulletin de la *Société impériale et centrale d'agriculture*.

36° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *l'Invention*.

37° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la *Revista obras publicas*.

38° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la *Revue des Deux-Mondes*.

39° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la *Revue contemporaine*.

40° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *la Célébrité*.

41° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du *Journal des Mines*.

42° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du *Journal de l'éclairage au gaz.*

43° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *l'Isthme de Suez.*

44° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *l'Enseignement professionnel.*

45° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du *Journal des chemins de fer.*

46° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *la Semaine financière.*

47° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du journal *El Monitor cientifico industrial.*

48° Les numéros du quatrième trimestre 1865 des *Annales des Conducteurs des ponts et chaussées.*

49° Le numéro de la 2e et 3e livraison de 1865 des *Annales des mines.*

50° Les numéros de mars, avril, mai et juin 1865 des *Annales des ponts et chaussées.*

51° Le numéro de la 2e livraison de 1865 des *Publications administratives.*

52° Le numéro de juillet, août, septembre et octobre 1865 du bulletin de la *Société de Mulhouse.*

53° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la *Revue universelle des mines et de la métallurgie.*

54° Les numéros du quatrième trimestre 1865 des *Nouvelles Annales de la construction.*

55° Les numéros du quatrième trimestre 1865 du *Portefeuille économique des machines.*

56° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de l'*Album pratique de l'art industriel.*

57° Les numéros du quatrième trimestre 1865 des *Nouvelles Annales d'agriculture.*

58° Les numéros du quatrième trimestre 1865 des *Annales télégraphiques.*

59° Les numéros du quatrième trimestre 1865 des *Comptes rendus de l'Académie des sciences.*

60° Les numéros du quatrième trimestre 1865 de la *Propagation industrielle, revue des arts et manufactures.*

Les Membres nouvellement admis comme Sociétaires sont les suivants :

Au mois d'octobre :

MM. Barres-Barretto (de), présenté par MM. Loustau, Péligot et Salvetat.
Gaune, présenté par MM. Fortin Herrmann, Goumet et Péligot.
Lefèvre, présenté par MM. Alquié, Donnay et Herpin.
Traz (de), présenté par MM. Péligot, Schneider et Thirion.

Au mois de novembre :

MM. Blaise, présenté par MM. Callon, Levi Alvarès et Salvetat.
Évrard, présenté par MM. Demanest, Jordan et West.
Hinstin, présenté par MM. Alcan, Lippmann et Priestley.
Jouanne, présenté par MM. Callon, Péligot et Salvetat.

Au mois de décembre :

MM. Coutanceau, présenté par MM. Lefèvre, Tronquoy et Vuigner.
Debarle, présenté par MM. Bellier, Salvetat et Tronquoy.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

PENDANT

LE IVe TRIMESTRE DE L'ANNÉE 1865

Séance du 6 Octobre 1865.

Présidence de M. Ch. Callon, *vice-président.*

M. le Président donne la parole à M. Brüll pour la lecture du procès-verbal de la dernière séance.

La rédaction est adoptée.

M. le Président rappelle à la Société la perte qu'elle vient de faire à l'occasion du décès de M. Richoux, l'un de ses membres. M. Richoux était l'un des membres les plus assidus de la Société dont il était le secrétaire depuis plusieurs années. Nature d'élite, cœur droit et loyal, il apportait dans toutes les études qui lui étaient confiées la belle intelligence dont il était doué et la finesse d'esprit qui le rendait d'un commerce aimable. Tous ses camarades et ses collègues s'associeront aux regrets du bureau.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Chavès, relative à un raccordement rationnel des voies courbes avec les voies droites.

M. le Président rappelle à ce sujet que M. Hamers avait annoncé l'intention de préparer une note écrite qui devait être communiquée à M. Chavès avant la discussion. M. Hamers n'a pas eu le temps de préparer sa note; il a d'ailleurs annoncé qu'il lui serait impossible d'assister à la séance. M. Chavès a, de son côté, informé M. le Président qu'il ne pourrait pas non plus être présent; la discussion se trouve par conséquent reculée à une autre séance.

M. Nordling demande à présenter quelques observations à l'occasion du renvoi de cette discussion. Depuis le peu de temps qu'il fait partie de la Société, il a déjà remarqué plusieurs fois que, pour une cause ou pour une autre, l'ordre du jour ne pouvait être suivi. La reproduction fréquente de faits de cette nature n'est pas sans inconvénients; des membres attirés par l'intérêt spécial qu'ils attachent à des discussions annoncées se trouvent désappointés en assistant à des communications aux-

quelles ils ne s'attendaient pas, et ne retrouvent point toujours la possibilité de suivre celles qu'ils désireraient entendre.

Il a remarqué aussi qu'à la fin de l'ordre du jour il se retrouve périodiquement un certain nombre de communications qui ne voyaient jamais le jour; il demande s'il ne conviendrait pas de les faire disparaître après un certain temps.

M. LE PRÉSIDENT est d'avis, comme M. Nordling, que l'intérêt des séances peut avoir à souffrir de ces ajournements; si, en effet, quelques-unes des communications annoncées en tête de l'ordre du jour ne peuvent pas avoir lieu, les auteurs de celles annoncées ensuite, croyant que leur tour n'arrivera pas, s'abstiennent d'assister à la séance, qui se trouve ainsi forcément tronquée. Mais la faute en est aux auteurs, soit que leurs affaires les forcent à s'absenter, soit qu'ils retirent leurs mémoires dans l'intervalle des séances pour les revoir ou les compléter.

M. LE PRÉSIDENT croit qu'il convient d'attirer l'attention des membres de la Société sur ces faits, afin qu'ils se reproduisent le moins possible.

M. NORDLING pense qu'en obligeant les membres qui auraient fait défaut à une séance à fournir des explications dans la séance suivante, on obtiendrait plus de régularité.

La parole est ensuite donnée à M. Desbrière pour la lecture de sa communication sur le rapport du capitaine Tyler, relatif au chemin de fer expérimental du Mont-Cenis.

M. DESBRIÈRE rappelle que, le 18 mars de l'année dernière, il a entretenu la Société des expériences faites en Angleterre par M. Fell, en vue de la traversée du Mont-Cenis, au moyen d'un chemin de fer à rail central.

Avec l'autorisation de l'administration supérieure, ces essais ont été repris sur les rampes même du Mont-Cenis, entre Lanslebourg et le Col.

Des commissions nommées par les gouvernements français, italien, anglais, autrichien et russe, ont assisté à ces expériences.

Le capitaine Tyler, commissaire du gouvernement anglais, a rédigé sur celles dont il a été témoin un rapport dont M. Desbrière présente quelques extraits, en y ajoutant quelques faits dont le capitaine Tyler n'avait pu faire la constatation, et qui complètent son travail et sanctionnent les conclusions auxquelles la haute perspicacité de cet ingénieur l'avait fait arriver.

Voici d'abord la description de la ligne sur laquelle ont eu lieu les expériences :

« La ligne d'essai qui a été construite sur le Mont-Cenis est située entre Lanslebourg et le sommet. Elle commence à la hauteur de 1,622 mètres au-dessus du niveau de la mer et se termine à une élévation de 1,773 mètres. Elle a 1,960 mètres de longueur; la pente moyenne sur toute cette longueur est de 0,077, la pente maximum étant de 0,083. Elle passe autour d'un angle aigu formé par la route et réunissant deux zigzags de la rampe, avec une courbe d'un rayon de 40 mètres environ. Excepté en cet endroit, elle est placée sur le côté extérieur de la route occupant une largeur de 3 mètres 1/2 à 4 mètres, et réservant 5 mètres au moins de libres pour la circulation sur la route. »

Suit la description de la voie de fer, qui est la même que celle déjà employée à Whaley-Bridge, et décrite dans son mémoire du 18 mars 1864.

Le capitaine Tyler donne ensuite la description de la machine déjà expérimentée en Angleterre. Cette description est conforme à celle que M. Desbrière a donnée l'an-

née dernière, sauf la pression horizontale qui était de 12 tonnes et a été portée à 16. Puis viennent les expériences de traction faites sur cette machine, et qui concordent avec celles dont il a déjà entretenu la Société l'an dernier.

Le rapport anglais passe ensuite à la description et à l'examen de la machine nouvelle destinée au service du Mont-Cenis, et dont M. Desbrière soumet les dessins à la Société :

« Son poids vide est de 13 tonnes; avec son approvisionnement complet de combustible et d'eau, elle pèse 16,863 kil., soit un poids moyen de 16,256 kil. en ordre de marche; plusieurs pièces de la machine devant être augmentées de dimensions, le poids maximum sera porté à 17,374 kil. et le poids moyen à 16,460 kil. Le mécanisme complet des roues horizontales et accessoires ne pèsera cependant pas plus de 2,690 kil.

« Le corps cylindrique de la chaudière a 2m,532 de longueur, 0m,962 de diamètre et contient 158 tubes de 0m,0375 de diamètre extérieur. Le foyer et les tubes donnent ensemble 55 m. carrés 986 de surface de chauffe; la surface de grille est de 0m,930. Les cylindres sont au nombre de 2; leur diamètre est de 0m,380, et la course des pistons de 0m,406 : ils agissent à la fois sur les deux groupes de roues, 4 horizontales et 4 verticales; chaque groupe se compose de 4 roues couplées de 0m,685 de diamètre. L'écartement des centres des roues verticales est de 2m,092, celui des roues horizontales de 0m,620. La pression maximum de la vapeur dans la chaudière est de 8 atmosphères, la pression effective sur le piston est de 5 atmosphères.

« La pression sur les roues horizontales peut être réglée à volonté par le mécanicien du haut de la plate-forme. Cette pression est appliquée au moyen d'une tige en fer portant deux pas de vis à filets opposés, et qui agit sur deux châssis placés de part et d'autre du rail central; ces châssis sont eux-mêmes en relation avec des ressorts en spirale qui pressent les roues horizontales contre le rail. La pression maximum qui puisse être appliquée aux roues horizontales est de 6 tonnes par roue, soit 24 tonnes pour les quatre. Chaque piston porte une double tige, une à l'avant, une autre à l'arrière du cylindre; la première transmet son mouvement par un renvoi aux roues verticales; les roues horizontales sont menées directement par la seconde tige. Tout le système des roues horizontales paraît fonctionner parfaitement; malheureusement quelques-unes des pièces en relation avec les roues verticales avaient besoin d'être renforcées et, pour éviter des réparations qui auraient entraîné de nouveaux délais, on ne pouvait guère faire marcher cette machine longtemps ou avec une forte charge, au moment où M. Desbrière était au Mont-Cenis; il aurait fallu attendre les pièces de rechange qui étaient alors en construction en Angleterre. M. Desbrière a pu cependant remonter avec cette machine les 1,800 mètres de la ligne expérimentale en remorquant la même charge que précédemment, soit 16 tonnes en 3 wagons, en 6 minutes 1/4, ce qui répond à une vitesse de 17 kilomètres à l'heure. (Le programme pour les trains express n'admet qu'une vitesse de 12 kilomètres à l'heure.) La pression de la vapeur descendit de 7 atmosphères 15 à 6 atmosphères 83, et le niveau de l'eau dans le tube descendit de 0,075 millimètres, la chaudière n'ayant été alimentée que pendant la dernière partie de cette expérience. »

On voit que, dans cet essai, la production de vapeur n'a pas été suffisante; il est vrai que le travail demandé à la machine avait été excessif, car il a été de 60 chevaux supérieur au travail qu'elle doit donner en service régulier (195 chevaux au lieu de 160).

Le commissaire anglais passe ensuite aux conséquences qui lui paraissent ressortir des essais de M. Fell.

Voici ses conclusions :

« Toutes les fois qu'il s'agit de faire traverser une chaîne de montagne par une ligne de chemin de fer, le problème qui se pose est celui de savoir s'il est plus économique de franchir les cols à leur niveau ou d'établir un souterrain d'une longueur plus ou moins grande. Après s'être rendu compte avec soin de la dépense de construction et des frais d'exploitation qu'entraînera le trafic sur lequel on peut compter, il faut déterminer jusqu'à quel niveau on doit s'élever et quelle longueur de souterrain il en résultera suivant les différents cas; l'élément le plus important de ce calcul est la limite de rampe au-dessous de laquelle on doit se tenir pour avoir une exploitation à la fois sûre et économique.

« M. Fell a démontré par l'expérience que les pentes de 0,066 à 0,083 peuvent être, par le moyen du rail central, substituées aux pentes de 0,033 à 0,040 auxquelles on s'est arrêté jusqu'ici; il a montré aussi que ce système permet de circuler plus sûrement qu'on ne l'a fait jusqu'ici dans des courbes plus raides encore que celles usitées jusqu'à présent. En d'autres termes, il a prouvé qu'étant donnée une différence de niveau à franchir, on peut réduire *de moitié*[1] la longueur du développement nécessaire, et de plus d'un *tiers* la dépense de construction. En effet, quoique la voie de fer doive être plus coûteuse, puisqu'elle reviendra moyennement à 50,000 francs au lieu de 30 à 35,000 francs par kilomètre de voie simple, cependant l'adoption de pentes plus fortes et de courbes plus raides, dans les points difficiles, permettra de réduire ou même d'éviter les tranchées et les remblais, et les travaux en général en deviendront moins coûteux.

« De leur côté, les frais d'exploitation et d'entretien, pour une même différence de niveau à racheter, seront également réduits, la longueur de la ligne étant diminuée de moitié et la vitesse des trains pouvant être aussi réduite; car, pour atteindre le sommet dans le même temps, une vitesse moitié suffira, et, à cette vitesse ainsi réduite, il ne faudra pas, pour remorquer les mêmes trains (machines comprises), une plus grande consommation de travail mécanique que dans le premier cas; d'un autre côté, l'adhérence des machines se trouvant doublée moyennant une augmentation de moins d'un sixième de leur poids, la charge utile des trains s'en trouvera considérablement augmentée.

« La dépense de traction, qui ne doit pas varier sensiblement, puisqu'il s'agit dans les deux cas d'élever les mêmes charges brutes à une même différence de niveau, se trouvera réduite, si on la rapporte au poids utile, par l'augmentation de ce poids, les autres dépenses d'exploitation diminueront aussi, dans une certaine mesure, par la réduction dans l'usure et la fatigue du matériel, qu'entraînera la réduction de vitesse.

« Par ces motifs, les tracés franchissant les cols à leur niveau deviendront aujourd'hui plus faciles, plus rapides d'exécution et plus avantageux comme exploitation qu'ils ne l'ont été jusqu'à présent. »

On voit par le résumé de ce rapport que la machine n° 2 n'a pu être expérimentée par le commissaire anglais que dans des conditions d'infériorité qui, malgré l'étendue

1. La pente moyenne qu'il propose étant le *double* des anciennes limites adoptées pour les pentes.

de sa surface de chauffe, laissaient planer encore quelques doutes sur son aptitude à remplir le programme pour lequel elle a été construite.

Pour remplir cette lacune, M. Desbrière relate en abrégé les résultats des essais faits devant les commissions italienne et française, désignées par les gouvernements intéressés.

Voici d'abord le résultat des essais faits le 19 juillet dernier, en présence de la commission française :

Première série d'essais faits avec un train composé de 4 wagons et voiture à voyageurs, en tout..... 25,350 kil.
Poids de la machine..... 17,000
Poids total du train..... 42,350 kil.

(La pression sur les roues horizontales a été constamment de 12 *tonnes* en totalité, soit 3 tonnes par roue.)

NUMÉROS DES VOYAGES.	TEMPS DU PARCOURS.	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE		
		AU DÉPART.	A L'ARRIVÉE.	DIFFÉRENCE.
	Minutes.	Atmosphères.	Atmosphères.	Atmosphères.
1.....	9	6	8	2
2.....	11	6 2/3	7 1/3	2/3
3.....	10	6	8 1/3	2 1/3

Il résulte de ce tableau que ces trois voyages, exécutés sur une rampe de 1,800 mètres de longueur, ont été faits à une vitesse moyenne de 10,800 mètres à l'heure.

L'accroissement moyen de pression de la vapeur en montant la rampe a été de 1 atmosphère 2/3 par voyage.

Ces faits démontrent surabondamment que la puissance de vaporisation de la chaudière de la machine n° 2 est plus que suffisante pour remplir les conditions du service qu'elle a à faire. On ne compte, en effet, pas dépasser en service la vitesse de 6 kilomètres sur les rampes de 0,085 par mètre, comme celle où a eu lieu l'essai du 19 juillet avec les trains de marchandises dont la charge, non compris la machine, doit être de 24 tonnes.

Dans la seconde série d'essais, la charge remorquée a été réduite à 3 wagons, soit 16 tonnes, les autres conditions restant les mêmes :

NUMÉROS DES VOYAGES.	TEMPS DU PARCOURS.	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE		
		AU DÉPART.	A L'ARRIVÉE.	DIFFÉRENCE.
	Minutes.	Atmosphères.	Atmosphères.	Atmosphères.
1.....	7 1/2	5 1/3	8 1/3	3
2.....	7 1/2	»	»	1 2/3

Distance totale, 3,600 mètres parcourus en 15 minutes, soit une vitesse de 14,400 mètres ; accroissement moyen de pression par voyage, 2 atmosphères 1/3.

La vitesse prévue pour le service de ce train était seulement de 12 kilomètres à l'heure sur les rampes de 0,085.

La descente s'est effectuée en 10 à 12 minutes, de manière à démontrer l'efficacité du système de freins pour modérer la vitesse, laquelle n'a jamais dépassé 10 kilomètres à l'heure.

Des essais analogues ont eu lieu en présence de la commission italienne, le 27 juillet dernier. Les résultats ont été tout aussi favorables.

Les expériences auxquelles a été soumise la machine n° 2 ont été assez étendues pour permettre quelques évaluations sur la consommation du combustible. Nous ne donnons ces résultats qu'avec quelques réserves, car on sait combien il est délicat de déduire la consommation d'une machine de parcours peu étendus.

Avec la charge de 24 tonnes, on a fait 51^{k} à la vitesse de 10,604^{m} à l'heure.
— 16 — 29^{k} — 15,600^{m} —
80^{k}

Ce parcours total de 80 kilomètres a donné lieu à une consommation de 18^{k},300 par kilomètre [1] (montée et descente).

En finissant son mémoire, le capitaine Tyler a énoncé le fait qu'avec une vitesse moitié moindre sur des pentes doubles, et pour une même charge utile remorquée, la machine à rail central devait donner lieu à une dépense de travail mécanique plus faible que celle qu'entraînerait l'emploi des machines ordinaires.

Au moyen de formules très-simples, M. Desbrière a calculé, pour les inclinaisons comprises entre 0 et 100 millimètres, les quantités de travail correspondantes à la traction d'un train de 100 tonnes, avec les deux systèmes, employés respectivement aux vitesses de 20 et de 10 kilomètres à l'heure environ.

Les résultats de ce calcul, fait dans l'hypothèse d'une adhérence de 0,10, sont représentés par les courbes tracées sur le tableau. Ces courbes montrent que l'avantage en faveur de la machine à rail central s'élève jusqu'à 30 p. 100 du travail mécanique total consommé par la machine ordinaire. Elles prouvent, comme l'avait avancé le commissaire anglais, que les économies résultant de l'emploi du rail central ne se bornent pas à la diminution des frais de premier établissement, mais qu'il en découlera également des réductions importantes sur les dépenses de traction et d'exploitation.

M. Desbrière fait remarquer aussi que, dans ce même tableau, pour une même inclinaison, les quantités de travail sont pour les deux systèmes dans le rapport de 4 à 1. Si donc on doublait la vitesse de la machine à rail central pour la faire marcher à la même vitesse que la machine ordinaire, les quantités de travail seraient alors dans le rapport de 1 à 2, et l'économie serait de 50 p. °/. du travail moteur consommé par le système ordinaire. Mais ceci a moins d'importance parce qu'à cette économie ne vient pas s'ajouter celle résultant de la diminution des frais de premier établissement.

M. le Président désire faire une observation, non pas sur le travail de M. Desbrière, mais sur une phrase du rapport du capitaine Tyler, qui semble apporter au percement du Mont-Cenis une critique inexacte.

1. En rapportant cette consommation observée sur la ligne expérimentale dont la pente moyenne est de 77^{m}/$_{m}$ à la ligne entière qui est établie avec une pente moyenne de 39^{m}/$_{m}$, on en déduit une consommation moyenne de 13^{k},50 par kilomètre parcouru.

Il est dit dans ce rapport qu'en se basant sur la vitesse obtenue jusqu'à présent dans le travail de percement, et abstraction faite des retards qu'apporteront les difficultés toujours croissantes de la ventilation et de l'épuisement, on ne peut pas compter que le travail soit terminé avant sept ou huit ans; qu'une fois le souterrain terminé, on aura ensuite à exécuter aux abords des travaux importants qui nécessiteront plusieurs années.

M. LE PRÉSIDENT admet que ces travaux accessoires devront pouvoir s'exécuter en même temps que le percement, et être terminés dans le délai prévu pour l'achèvement du tunnel.

M. DESBRIÈRE répond que les travaux très-importants des abords (56 kilomètres comprenant plusieurs souterrains de 3 et 4 kilomètres de longueur) sont à la charge des Compagnies Française et Italienne, dont les concessions aboutissent aux deux entrées du souterrain, tandis que celui-ci est exécuté par le gouvernement italien.

Or ces compagnies n'ont peut-être pas, dans le résultat final, toute la confiance nécessaire pour consacrer sur-le-champ à ces travaux des capitaux qui atteindront certainement 25 à 30 millions; il est donc à craindre qu'elles ne se résolvent à de pareilles dépenses qu'après l'achèvement presque complet du souterrain.

M. NORDLING ne partage pas entièrement cette opinion; il croit que les compagnies comprendront mieux leurs intérêts, et que d'ailleurs les gouvernements ont sur elles des moyens d'action suffisants pour leur faire entreprendre ces travaux en temps utile.

M. DRU demande si le chemin sur lequel la machine Fell a été expérimentée doit fonctionner toute l'année, ce qui lui paraît difficile à cause des neiges, des avalanches, etc.

M. DESBRIÈRE répond que dans toutes les parties où la neige est persistante, et où les avalanches sont à craindre, le chemin sera couvert. — Ces parties sont évaluées à 15 kilomètres de longueur, et la couverture sur les différents points du parcours aura une solidité proportionnée à la quantité de neige qui peut s'accumuler.

Les parties exposées aux avalanches sont recouvertes par des voûtes en maçonnerie.

M. LE PRÉSIDENT demande à M. Desbrière quel est le système de frein employé à la descente.

M. DESBRIÈRE répond que les véhicules sont tous munis de freins ordinaires agissant sur les roues verticales : qu'en outre la machine et un certain nombre de véhicules portent des freins à mâchoire qui saisissent le rail central, et peuvent exercer sur lui une pression aussi considérable qu'on le désire, au lieu d'être limitée, comme pour les freins ordinaires, par le poids même du véhicule. Il en résulte donc des conditions de sécurité tout à fait nouvelles, et un moyen très-puissant de modérer la vitesse à la descente, indépendamment de la marche à contre-vapeur.

M. NORDLING demande quel est le rapport entre l'adhérence horizontale et l'adhérence verticale.

M. ROUYER demande à M. Desbrière si M. Fell s'est rendu compte de la variation de tension des ressorts agissant sur les roues horizontales, qui résulte du passage dans les courbes, par suite de l'écartement plus grand qui en résulterait pour ces roues. Si cette variation de tension était assez sensible pour nécessiter une manœuvre du balancier qui règle la tension du ressort, n'y aurait-il pas des inconvénients graves à confier le soin de cette manœuvre à un mécanicien? Et, dans le cas où celui-ci oublierait de faire la manœuvre à temps, n'y aurait-il pas à redouter des

accidents par suite du défaut d'adhérence qui résulterait d'une tension insuffisante de ces ressorts?

M. Desbrière répond que la pression sur les roues horizontales peut atteindre 24 tonnes; mais elle n'est ordinairement que de 12 tonnes. Cette pression n'est, du reste, pas déterminée d'une manière absolument fixe; elle s'obtient par un règlement du châssis sur lequel est monté tout le système des galets horizontaux. On détermine la position de ce châssis de manière que la pression ne dépasse jamais une limite déterminée correspondante à un travail convenable des ressorts. Ainsi ce n'est pas le mécanicien qui détermine la pression, il en règle seulement le maximum; c'est le rail central, là où il existe, qui la produit, et il n'y a de rail central que dans les parties où la pente dépasse 40 millimètres.

Il ajoute qu'en ce qui concerne la pression dans les courbes, l'excès d'écartement des roues horizontales, qui résulte du passage dans une courbe de 40 mètres de rayon, n'atteint pas 1 dixième de millimètre, et ne peut avoir, par suite, aucune conséquence pratique sur la pression des ressorts.

M. Nordling, ayant cru comprendre que le chemin en question avait été établi le long de la route, dont les rayons de courbe vont jusqu'à 9 mètres, demande si de pareils rayons n'auraient pas une certaine influence sur la pression.

M. Desbrière répond que, si on avait voulu suivre absolument la route on aurait obtenu des courbes de trop petits rayons; il faudra s'en écarter en certains points, ce qui motivera des travaux d'une certaine importance, les seuls du reste à exécuter en y joignant les couvertures en bois et en maçonnerie dont il a été déjà question.

M. Rouyer rappelle que M. Desbrière a cité dans son rapport des chiffres de consommation; mais il ne pense pas qu'on puisse les considérer comme sérieux; il est bien difficile, dans des expériences de dix minutes, de mesurer exactement le combustible réellement consommé pour le travail produit.

M. Desbrière répond que MM. Fell et Tyler ont été au-devant de cette objection, car ils n'ont donné leurs chiffres que sous réserves et sans chercher à en rien déduire. Au surplus, ces consommations n'ont pas été déduites d'expériences de dix minutes, mais bien de parcours s'élevant à plus de 160 kilomètres pour une des machines, et de plus de 80 pour l'autre, c'est-à-dire représentant avec les stationnements plusieurs journées de travail.

M. Nordling trouve que la question de consommation est tout à fait secondaire; ce qui est important, c'est le résultat obtenu, et il serait heureux qu'une concession pût en consacrer la réussite.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur la machine électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre.

M. Rouyer, répondant aux objections que lui avait faites M. de Bruignac dans la séance du 21 juillet, rappelle en quelques mots l'objet de la discussion; puis, citant le procès-verbal du 2 juin et celui du 21 juillet, il en conclut que M. de Bruignac reconnaît lui-même l'inexactitude de ce qu'il avait dit à la première de ces deux séances, sur la puissance de traction de la locomotive électrique.

Il rappelle ensuite qu'il n'a pas du tout voulu condamner la locomotive électrique elle-même, mais seulement le principe énoncé par M. de Bruignac; et il conteste l'économie résultant, pour ce système de traction, de la réduction du poids mort, réduction qui entraîne l'emploi d'un combustible beaucoup plus coûteux que le charbon; de sorte que, même avec cette réduction, la dépense est accrue.

M. Rouyer montre que les coefficients de traction qu'il a pris, pour le frottement de roulement et celui de glissement, sont ceux qu'on applique en pratique. Quant à la théorie électro-dynamique, M. Rouyer rappelle qu'elle fournit des lois assez nombreuses pour ne pas mériter le reproche de M. de Bruignac.

M. Rouyer démontre ensuite que les limites de 12° et 30° qu'il avait fixées, comme écartement minimum des aimants, sont trop faibles, loin d'être trop fortes, comme le pensait M. de Bruignac. Et quant aux deux fautes de calcul signalées dans l'équation

$$F \times 0{,}005 = KP \times 2\pi R \frac{12^\circ}{360^\circ},$$

il n'y a de réelle que la première, qui exige qu'on remplace 0,005 par 0,0075. Mais la seconde faute n'existe pas; c'est-à-dire qu'il faut maintenir la fraction $\frac{12^\circ}{360}$ et non pas lui substituer $\frac{5°45}{360°}$.

Une autre rectification de M. de Bruignac, consistant à dire que de l'équation

$$KP = f(P' + F),$$

on peut déduire la « force moyenne qui fait mouvoir le train, » est une erreur plus grave.

M. Rouyer montre que M. de Bruignac était encore dans l'erreur en lui reprochant « de supposer arbitrairement que, dans la loi des attractions magnétiques, il faille con- « sidérer la distance des pôles au lieu de celle de faces des aimants. » Et il ajoute « que la distance des pôles ne varie pas de la même façon que la distance des faces « des aimants en présence. »

M. Rouyer conteste aussi la conclusion déduite par M. de Bruignac de deux faits qu'il cite d'après MM. Becquerel et Wéber, de même que la conclusion qu'il tire des lettres de Liebig.

Quant aux observations générales de M. de Bruignac, M. Rouyer pense qu'elles n'auraient pas dû trouver place dans une discussion sérieuse; il dit aussi que M. de Bruignac a eu tout le temps nécessaire pour les préciser davantage, puisqu'il lui avait fait remettre son mémoire trois semaines avant la séance.

M. le Président n'a aucune observation à présenter sur la partie technique du mémoire de M. Rouyer, elle lui a paru très-rationnelle et conçue en termes convenables; mais il n'en est pas de même des réflexions qui terminent le mémoire dont la vivacité aura besoin d'être adoucie, soit dans le compte rendu destiné au procès-verbal, soit à l'impression, si la note de M. Rouyer doit figurer dans un des bulletins de la Société.

M. Rouyer fait remarquer qu'il n'a pas été plus vif dans sa réponse que M. de Bruignac dans son attaque, et que si la note de M. de Bruignac était maintenue telle qu'elle a été lue en séance, il n'aurait rien à retrancher à la sienne.

M. le Président pense que, s'il en est ainsi, les deux mémoires devront être revus par leurs auteurs, et il est convaincu que ces Messieurs s'entendront facilement ensemble pour ramener leur discussion aux termes de cordialité dont les membres de la Société se font une loi de ne jamais s'écarter.

M. Bellet demande à faire une observation; il fait remarquer que M. Rouyer, dans son mémoire, admet comme une loi absolue que la force attractive des électro-aimants

varie en raison inverse du carré des distances. Il admet bien que la loi ne se vérifie pas absolument; mais dans son opinion elle n'est faussée que par le déplacement des pôles, qui se rapprochent d'autant plus de la surface attractive que l'électro-aimant est plus rapproché du corps sur lequel il doit exercer son action. Mais on peut à coup sûr conclure de son mémoire que deux électro-aimants exactement pareils auront leurs pôles semblablement placés et auront la même puissance d'attraction.

Cependant en pratique ce fait ne se vérifie pas, et M. Bellet a constaté par expérience que deux électro-aimants de mêmes dimensions avaient donné, dans des circonstances semblables, des forces d'attraction très-différentes.

M. Rouyer dit que le fait cité par M. Bellet n'infirme en rien ce qu'il vient de dire de la distance à prendre dans la loi des attractions magnétiques, attendu qu'il ne pourrait pas plus s'expliquer si l'on prend la distance des faces en présence que si l'on prend la distance des pôles. Aux yeux de M. Rouyer, ce fait s'explique par les conditions mêmes de l'expérience, car il lui paraît bien difficile de répondre de l'identité complète de deux aimants.

MM. Barres-Barretto, Gaune, Lefèvre et de Traz ont été reçus membres-sociétaires.

Séance du 20 Octobre 1865.

Présidence de M. Salvetat.

M. le Président donne la parole à M. Tronquoy pour lire le procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

M. le Président informe la Société que M. Maurice Picard lui a adressé une note de M. Minary, relative à de nouvelles expériences sur les cokes scories de MM. Minary et Soudry, et que cette note a été renvoyée à M. Callon, qui a été prié de vouloir bien en rendre compte, comme il l'a déjà fait des notes précédentes sur cette même question.

M. le Président annonce le décès de M. Jacquesson, ancien élève de l'École centrale, membre de la Société, et directeur de la maison Jacquesson, de Chalons-sur-Marne.

M. le Président annonce aussi la promotion de M. Pétin, membre de la Société, au grade d'officier de la Légion d'honneur.

M. le Président donne lecture d'une lettre qu'il a reçue de M. Siéber, membre de la Société, relative à la communication de M. Foucou, sur les gisements de pétrole dans les Karpathes. Dans cette lettre, M. Siéber rappelle que M. Foucou a exprimé l'opinion qu'il croyait que les gîtes de pétrole découverts en Alsace se rattachaient à un grand cercle qui part des bouches de l'Amazone en Amérique, passe

par les gîtes bitumineux d'Avallon, traverse l'Alsace, jalonne les épanchements de la vallée du haut Danube et vient rejoindre la chaîne de l'Oural.

M. Siéber continue ainsi : Ne serait-il pas admissible aussi que le pétrole se rencontrât par bassins isolés, comme la houille, sans faire partie d'aucun ensemble géologique, et ne tînt, par exemple, à des modifications volcaniques?

Ce qui me fait croire que les gîtes de l'Alsace peuvent parfaitement se trouver isolés ou appartenir à tout autre système que celui indiqué, c'est que M. Laschi, de Vicence, guidé par les professeurs distingués de géologie MM. Stopani et Beggiato, ayant entrepris des sondages en Italie, aurait rencontré tout récemment du pétrole dans les Abruzzes citérieures (versant est des Apennins), à 30 mètres de profondeur, et aurait constaté sur ce point l'existence d'un dépôt considérable de pétrole.

Déjà dans les Apennins, à peu de distance de la station de Peretta, plus au nord (ligne de Bologne à Florence), on a rencontré du pétrole par des sondages faits l'an passé.

Ces faits sembleraient démontrer que le pétrole existe aussi en suivant une ligne à peu près parallèle, mais à une grande distance de celle indiquée par M. Foucou, c'est-à-dire parallèle à la ramification dont il parle qui se dirige vers Lemberg, laquelle formerait le partage des eaux de la Baltique et de la mer Noire, puisqu'elle suit une ligne sud-est, longeant l'Italie et passant précisément par l'Alsace.

Je ne crois pas, ajoute M. Siéber, que la présence d'arbres résineux puisse être un indice bien important pour les explorations du pétrole, attendu que les découvertes de pétrole faites en Italie se trouvent dans des lieux déboisés, et qu'en outre, lorsqu'on a exploité les forêts de sapins, le reboisement se succède par du hêtre, et l'on ne voit ultérieurement de sapins dans la même forêt que ceux qui ont pu se semer naturellement. C'est là un fait qui nous permet de croire que, si le versant hongrois de la chaîne occidentale des Karpathes est très-pauvre en sapins et qu'on n'y rencontre que du hêtre, cela veut dire qu'autrefois la surface n'était boisée que de bois résineux, et que, par conséquent, on pourrait y trouver aussi du pétrole.

Les forêts de sapins sont à peu près disparues, parce que cette essence doit être semée.

La parole est donnée à M. de Bruignac pour répondre à quelques observations faites par M. Rouyer au sujet de la discussion des machines électro-motrices.

M. de Bruignac désire répondre à quelques observations sur la locomotive électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre, présentées par M. Rouyer à la dernière séance. M. de Bruignac regrette vivement de n'avoir pas pu y assister, surtout à cause du laconisme du procès-verbal, qui, en rendant compte des remarques de M. Rouyer, affirme simplement, sans même indiquer les démonstrations.

A l'égard des observations personnelles, M. de Bruignac gardera le silence.

M. Rouyer maintient que le coefficient moyen d'adhérence des roues sur rails est 0,10; M. de Bruignac croit devoir maintenir 0,17 qu'il a puisé, notamment, dans l'*Aide-Mémoire* de Claudel, page 564. Les hommes spéciaux apprécieront. On sait, d'ailleurs, à quel point les coefficients varient avec les expérimentateurs.

Ce n'était pas un reproche que M. de Bruignac avait adressé à certaines lois physiques, c'était une remarque et une question; il avait dit : « ... La science saurait-elle, « *à priori* et sans tâtonner, répondre à cette question : Comment et à quel prix

« peut-on réaliser, aux extrémités d'un électro-aimant, une force de 1, 10, 100, « 1,000 kil., etc.? »

Le meilleur argument aurait été de faire voir que la science physique possédait la réponse même que M. de Bruignac la croyait peu capable de fournir.

M. DE BRUIGNAC n'a pas examiné quel devrait être, pratiquement, l'angle des électro-aimants; il a dit, et il maintient, que le nombre des électro-aimants devait se décider par une étude directe, théorique et pratique, de la roue électro-motrice elle-même; et non pas par les *habitudes* qui existent pour l'écartement des rais.

En tenant compte d'une correction admise par M. Rouyer, voici la formule qu'il a posée pour déterminer l'attraction magnétique F, nécessaire pour équilibrer un train qui offre, parallèlement à la voie, une résistance totale K P

$$F \times 0^{m},0075 = K P. \; 2 \pi R \frac{12^{o}}{360^{o}}.$$

C'est l'équation du travail; il s'agit d'une roue de 3 mètres de diamètre, d'un électro-aimant distant du point de contact d'un angle $\alpha = 5^{o},45'$, et du travail pendant que le point d'attraction magnétique parcourt $0^{m},0075$, c'est-à-dire pendant un roulement correspondant à tout l'angle α. — Or, pendant ce roulement

$$2 \pi R \frac{\alpha = 5^{o} - 45'}{360^{o}},$$

l'axe de la roue où est appliquée la résistance KP parcourt un chemin égal; donc il faut écrire que KP parcourt $2 \pi R \frac{5^{o} - 45'}{360^{o}}$, pendant que F parcourt $0^{m},0075$ correspondant à un roulement égal $2 \pi R \times \frac{5^{o} - 45}{360}$; l'équation est donc bien :

$$F \times 0,0075 = KP. \; 2 \pi R \frac{5^{o} 45'}{360^{o}},$$

quel que soit l'angle des électro-aimants entre eux.

C'est cette même force F que M. de Bruignac a cherché à déterminer; il a préféré l'équation des moments à l'équation du travail, parce qu'il trouvait ainsi le calcul plus court. Cette équation des moments est :

$$F. d = KPR$$

dans l'hypothèse théorique d'une roue sans poids propre, que M. Rouyer et M. de Bruignac examinaient. M. de Bruignac maintient comme évident que l'équation des moments est efficace pour déterminer l'attraction magnétique requise.

Toujours dans l'hypothèse spéciale d'une roue sans poids propre, M. de Bruignac a pris une deuxième équation préalable

$$F. f = KP.$$

Elle signifie que, *dans ce cas*, pour l'équilibre, la résistance de frottement sur le rail due à F doit égaler la résistance du train. M. de Bruignac maintient comme évident que, dans l'hypothèse qu'il étudiait, ces bases étaient exactes. Le reste est une affaire de simple calcul.

M. Rouyer avait dit : « La loi d'attraction électrique en raison inverse du carré des distances ne semble pas se vérifier, parce qu'on ne prend pas la distance des pôles. » — M. de Bruignac, sans nier cette allégation, a demandé à M. Rouyer comment il la prouvait. Ici encore le meilleur argument serait de fournir cette preuve.

M. de Bruignac maintient, dans les termes où il les a formulées, les conclusions qu'il a tirées de la dixième lettre de Liébig et des exemples de MM. Becquerel et Weber, M. de Bruignac ne veut pas répéter ces études un peu longues, qui sont imprimées et vont paraître *in extenso*.

M. de Bruignac regrette d'avoir dû répéter exactement ce qu'il avait déjà dit devant la Société; il croit que les dernières objections que lui a faites M. Rouyer reposent sur un malentendu; cette discussion pourrait durer indéfiniment de la sorte, et M. de Bruignac ne désire pas la poursuivre. Les discussions antérieures sont publiées; les notes *in extenso* vont paraître : M. de Bruignac y renvoie instamment ceux qui désireraient savoir ce qui a réellement été dit. On ne peut en prendre une idée certaine qu'en voyant chaque phrase, en ne modifiant ni n'omettant aucun mot.

M. Rouyer fait observer qu'il a répondu d'avance à M. de Bruignac dans le mémoire qu'il a présenté à la Société et déposé au secrétariat.

M. le Président, avant de donner la parole à M. Bellet pour lire une note sur la machine électro-magnétique qu'il a étudiée en collaboration avec M. de Rouvre, prie MM. de Bruignac et Rouyer de vouloir bien revoir les notes qu'ils ont présentées au sujet des machines de ce genre, en tenant compte des faits indiqués par M. Bellet, qui a étudié la question avant eux, et dont le travail précédera le leur dans le *Bulletin* de la Société.

M. Nordling renouvelle les observations qu'il a présentées dans la séance précédente en ce qui concerne l'ordre du jour des séances, qui n'est presque généralement pas suivi. Il espérait entendre la discussion de la question des courbes de raccordement, et bien que ce sujet figurât en premier sur l'ordre du jour, il semble qu'on doive passer outre.

M. le Président fait observer à M. Nordling qu'il est très-difficile de suivre exactement les discussions dans l'ordre indiqué, parce que l'ordre du jour est arrêté au moment de l'impression du compte rendu des séances, et qu'il arrive souvent que les membres qui avaient demandé la parole se trouvent absents le jour de la réunion : c'est ce qui se présente dans le cas actuel, où MM. Hamers et Chavès ont écrit, après la distribution du compte rendu, qu'ils ne pourraient pas venir.

M. Bellet donne communication de sa note sur la machine électro-magnétique, inventée par M. de Rouvre et lui.

Dans la première partie de leur travail, les auteurs entrent dans diverses considérations sur les principaux faits se rattachant à l'électro-magnétisme. Ils examinent successivement la pile qui, dans leur machine, fournit la force, et les électro-aimants qui la transforment.

Deux faits principaux attirent spécialement leur attention : 1° Ils établissent que la pile de Bunzen produit une quantité de chaleur, par équivalent de zinc dissous, bien supérieure à celle que l'on obtiendrait en brûlant ce métal dans l'air, comme un combustible ordinaire; 2° que la loi des attractions à distance ne se vérifie qu'en se plaçant dans des conditions spéciales. La vérification exacte de cette loi serait très-utile à connaître, l'attraction à distance étant la base de toutes les machines électro-magnétiques.

Les auteurs donnent ensuite, dans la deuxième partie de leur travail, la description complète de leur modèle de locomotive postale tel qu'ils l'ont construit et expérimenté. Ensuite, voulant donner une idée de l'économie qui pourrait résulter de

l'application de ce système, ces messieurs, prenant pour exemple le transport des dépêches entre la place de la Bourse et le Ministère de l'intérieur, établissent que, par l'emploi de leur système, l'administration des lignes télégraphiques pourrait réaliser une économie de 20,000 fr. par an environ.

La troisième partie est entièrement consacrée à l'étude de la grande traction par ce système.

Les auteurs considèrent un wagon électro-magnétique se trouvant dans les conditions suivantes :

Poids du wagon.....	5 tonnes 7/10.
Nombre des roues.....	6
Diamètre des roues.....	1 mètre.
Pile. Éléments de Bunzen.....	25

MM. Bellet et de Rouvre trouvent que, dans ces conditions et pour une vitesse de 50 kilomètres à l'heure, chaque roue doit exercer, sur le rail qui lui sert d'armature, une attraction égale à $56^{k},520^{s}$. Cette attraction doit être exercée à une distance de $6^{mm},2$.

« Ce résultat est facile à obtenir, dit M. Bellet, avec le système des aimants circu-« laires.

« M. Serrel, en répétant des expériences déjà faites par M. Nicklès, est arrivé à « donner à des roues de locomotive une aimantation de 2 à 3,000 kil. au contact. »

Quant à la dépense, elle est représentée par les 25 éléments de Bunzen, et égale à 1 fr. 50 par heure. L'appareil fonctionnant avec une vitesse de 50 kilomètres à l'heure, les frais de traction ne s'élèvent donc qu'à 3 centimes par kilomètre et par 5 tonnes 7/10.

Les auteurs terminent par ces considérations :

« En remarquant que les frais de traction ne s'élèvent dans ce système qu'à 3 cen-« times par kilomètre et par 5 tonnes 7/10, que l'on supprime complétement les « frais de combustible pour la mise en pression de la machine, ainsi que les pertes « dues aux arrêts. En remarquant en outre que sur certaines lignes, notamment sur « celle de la banlieue, des machines restent souvent en feu pendant 7 à 8 heures « pour ne produire qu'un travail très-faible, on constatera que notre système élec-« tro-magnétique donnerait une économie sensible sur la traction actuelle. »

Séance du 3 Novembre 1865.

Présidence de M. Nozo, *vice-président.*

M. Rouart donne communication de sa note sur la production artificielle du fro par les appareils Carré.

Sans vouloir étudier l'histoire de la réfrigération artificielle, M. Rouart a analys les principales tentatives qui ont été faites dans le but de l'obtenir.

Il a classé à cet effet les appareils qui ont été successivement employés en trois catégories :

1° Ceux qui s'appuient sur les propriétés des chaleurs spécifiques et qu'il appelle simplement *appareils à chaleur spécifique* ;

2° Les *appareils à chaleur latente de fusion* ;

3° Les *appareils à chaleur latente de volatilisation.*

Comme *appareils à chaleur spécifique*, il cite la fabrication classique de la glace au Bengale, par le rayonnement ; — les échangeurs de température ; — et les appareils à air comprimé, en s'appesantissant sur celui qui a été breveté en Angleterre par Newton en 1850. Il examine les causes d'infériorité de ce genre d'appareils, tenant à ce que la chaleur spécifique est généralement, toutes choses égales d'ailleurs, très-inférieure aux chaleurs latentes.

Il dit ensuite que les *appareils à chaleur latente de pression* sont basés sur l'emploi des mélanges réfrigérants, et il insiste particulièrement sur l'appareil breveté par Siemens, en 1855.

M. Rouart analyse les *appareils à chaleur latente de volatilisation*, qui lui semblent être le point de départ de la réfrigération artificielle future.

Il subdivise pour l'étude ces appareils en deux groupes : ceux qui s'appuient sur les expériences faites par Lesly avec la machine pneumatique ; — ceux qui s'appuient sur l'expérience de Faraday pour obtenir la liquéfaction du gaz.

Ceux qui s'appuient sur Lesly, comprennent :

1° Les appareils qui emploient, pour produire la volatilisation, la machine pneumatique ; et 2° ceux qui mettent simultanément en usage la machine pneumatique et l'affinité.

Comme exemple des premiers, il décrit sommairement les appareils à volatilisation d'éther, de sulfure de carbone, d'ammoniaque, etc., successivement inventés par Shaw, Harrison et Carré.

Comme exemple des seconds, il cite l'appareil à chlorure de calcium et eau, décrit par M. Péclet dans son traité de chaleur ; — et d'autres appareils qui ne font que réaliser en grand l'expérience de Lesly, et qui volatilisent l'eau par l'action du vide et l'affinité de ses vapeurs pour l'acide sulfurique.

M. Rouart arrive aux appareils à absorption dérivant des appareils de Faraday, et imaginés par M. Carré. Ces appareils sont soit intermittents, soit continus ; il a donné la description des appareils intermittents et déduit celle des appareils continus.

Il insiste particulièrement sur ces appareils, qui sont ceux qui ont reçu le plus d'applications industrielles, il fait ressortir leurs principaux avantages et montre comment s'accomplissaient les différentes circulations de l'appareil continu et les avantages économiques qu'il présente.

M. Rouart termine en décrivant les principales applications de la réfrigération artificielle réalisées ou expérimentées, et donne des détails sur la fabrication de la glace dans les familles et les laboratoires au moyen des appareils intermittents dits domestiques.

Il examine aussi la fabrication industrielle de la glace au moyen des appareils continus, et les principales propriétés de la glace produite artificiellement.

M. Rouart dit quelques mots de la fabrication des carafes frappées, encore peu répandue aujourd'hui, mais qui ne pourra manquer de se généraliser. Il parle éga-

lement des applications à la brasserie, et d'une manière simple de les réaliser, déjà mise en pratique, en faisant remarquer qu'il se présente d'assez grands obstacles à l'introduction de cette méthode, résultant des coutumes et procédés en usage chez les brasseurs.

Il insiste sur la distillation par le froid dont les conditions économiques sont théoriquement évidentes, et qui peut, dans certains cas, aider beaucoup l'industrie, en arrêtant des causes de destruction de certains produits qui s'altèrent par la chaleur. A ce sujet, M. Rouart décrit les appareils employés et cite comme exemple : la distillation de l'eau de mer, la concentration des eaux minérales et celle des jus sucrés dont s'occupe M. Alvaro Reynoso de la Havane.

M. Rouart dit quelques mots sur la fabrication du sulfate de soude, au moyen des eaux mères des marais salants.

En terminant, M. Rouart fait remarquer qu'il avait dû laisser de côté beaucoup de points de la question qui, quoique de nature à intéresser des ingénieurs, auraient entraîné dans de trop longs détails.

M. Foucou fait observer qué jusqu'alors il avait pensé que les glaces flottantes des pôles étaient douces parce qu'elles se forment sur les continents. Il demande à M. Rouart s'il est bien démontré que la glace qui se forme dans l'eau de mer est réellement douce.

M. Rouart répond qu'il n'a pas à cet égard d'expérience personnelle, mais qu'un chimiste distingué lui a dit avoir vérifié le fait, et dès lors il l'a considéré comme certain.

M. Tronquoy ajoute que, dans les pays du nord de l'Europe, les eaux de mer sont concentrées par la congélation pour en extraire le sel marin. Ce qui prouve bien que la glace formée dans l'eau de mer est douce.

M. le Président demande à M. Rouart si les appareils de ménage sont entrés dans une période pratique, c'est-à-dire s'ils fonctionnent sans dérangements.

M. Rouart répond que ces appareils sont d'un usage assez répandu, qu'ils fonctionnent convenablement; néanmoins, M. Rouart considère comme probable qu'une plus longue expérience fera reconnaître la possibilité de quelques améliorations.

MM. Blaise, Évrard, Hinstin et Jouanne ont été reçus membres sociétaires.

Séance du 17 Novembre 1865.

Présidence de M. Salvetat.

Le procès-verbal de la séance du 3 novembre est lu et adopté.

Un membre exprime le désir que les comptes rendus des séances soient distribués aux membres de la Société plus tôt qu'ils ne le sont généralement.

M. le Président fait observer que le temps employé à la rédaction, la correction des épreuves et l'impression ne saurait être plus court que celui qui y est consacré,

et que, par conséquent, il serait fort difficile de satisfaire au vœu exprimé, malgré l'avantage évident qui résulterait d'une distribution plus prompte.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société la nouvelle perte qu'elle vient de faire en la personne de M. Vuigner, l'un de ses membres les plus distingués.

La mort semble prendre à tâche d'éclaircir nos rangs, avant-hier, Richoux, hier, Jacquesson, aujourd'hui Vuigner.

La Société tout entière doit s'associer à ce deuil. Elle ne peut oublier que c'est sous la présidence de Vuigner qu'elle a été reconnue comme établissement d'utilité publique; c'est aux efforts persévérants de ce président dévoué qu'elle a dû son existence, comme individu jouissant des droits légaux, et c'est grâce à son initiative intelligente et persuasive que nous avons pu réunir, par la voie d'une souscription volontaire, le capital inaliénable imposé par le Ministère. Le nom de Vuigner est dont désormais attaché à notre existence civile.

La famille de Vuigner, mort à Saint-Valery-sur-Somme, en faisant part à la Société des ingénieurs civils du malheur qui l'a frappée, a exprimé ses regrets que le bureau ne pût, même par une députation, conduire à sa dernière demeure l'homme de bien qu'elle pleure. Un service funèbre a été dit aujourd'hui même à l'église Saint-Laurent, à Paris, et l'assistance, à laquelle se trouvaient mêlés en grand nombre des membres de la Société, témoignait assez de l'estime dont était entouré le nom de notre ancien Président.

Nous comptons parmi nous l'un des fils de Vuigner, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures; espérons que sa présence comblera longtemps le vide que laisse dans nos rangs la mort de notre regretté collègue.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que, dans la séance du 18 août, une lettre de M. Rey faisait connaître les inconvénients créés pour les riverains par le grand égout collecteur des eaux de Paris. Dans une séance postérieure, M. Amable Cavé présentait un avant-projet pour remédier à l'insuffisance du système admis. On se souvient que la lettre de M. Rey avait été reproduite dans le procès-verbal pour attirer sur cet important sujet d'études l'attention des ingénieurs civils. Le travail de M. Cavé, présenté par M. Tresca, notre collègue, à la Société d'encouragement, a motivé, de la part de M. Dumas, président, quelques observations qui sont de nature à vivement intéresser les ingénieurs civils, en leur indiquant la voie actuellement ouverte aux recherches ou aux études qu'ils voudraient entreprendre.

M. Dumas, entretenant la Société d'encouragement des grands travaux de canalisation souterraine entrepris depuis ces dernières années par ordre de l'administration municipale, fait remarquer que l'ensemble constitue un réseau considérable d'égouts.

Le projet à exécuter comprend deux grands égouts collecteurs, l'un sur la rive droite, l'autre sur la rive gauche, tous devant se réunir en un certain point pour déboucher dans la Seine, à Asnières. On sait que l'égout de la rive droite est déjà terminé; l'égout de la rive gauche est lui-même presque achevé, sauf une lacune de 300 mètres, et le serait déjà depuis longtemps sans l'indécision dans laquelle se sont trouvés les ingénieurs, de savoir si le drainage de la butte du Panthéon serait continué par la rue Saint-Victor, ainsi qu'il avait été tracé dans le principe? La question est résolue maintenant, le drainage sera continué par la rue des Écoles, et sera complet lorsque le raccordement des 300 mètres sera fini, c'est-à-dire avant le mois d'août 1866.

Les riverains se plaignent avec quelque raison des émanations produites à la bouche des égouts d'Asnières. Ces plaintes cesseront d'être fondées lorsque la seconde partie du projet de l'administration municipale aura reçu son entière exécution. On doit, en effet, exécuter en aval de Paris un barrage qui aura pour résultat immédiat de relever dans l'intérieur de la ville le niveau des eaux de la Seine de 1m,50 au-dessus de l'étiage, et de s'opposer de la sorte aux émanations putrides qui se dégagent des rives pendant les grandes sécheresses de l'été.

A l'aide de ce barrage, qui diminuera le nombre des jours de chômage de la navigation, sera créée une force de 1,000 chevaux; cette force, employée pour reprendre les eaux de l'égout collecteur d'Asnières et les relever à un certain niveau, répandra convenablement un engrais liquide jusqu'alors entièrement perdu, ou permettra l'application des eaux en question à des opérations de colmatage.

Une question de même ordre était étudiée en 1862 pour la ville de Londres, qui a dépensé 75 millions pour écouler dans la Tamise les eaux ménagères et les eaux pluviales.

M. Tronquoy fait observer que depuis cette époque les projets ont été modifiés, et les eaux, au lieu d'être jetées dans la Tamise, seront élevées au moyen de machines puissantes, pour servir à l'arrosement et à la transformation en prairies de vastes terrains sablonneux et incultes situés à 40 kilomètres de Londres environ.

La dépense est évaluée à 100 ou 120 millions, aujourd'hui souscrits, et on s'occupe de la réalisation de ce projet.

M. Tronquoy espérait pouvoir présenter à cette séance une notice très-intéressante rédigée, d'après des documents officiels, par M. Ronna, au sujet de la question du *sewage* en Angleterre (le sewage comprend à la fois la question des égouts, des fosses d'aisances, etc., et l'utilisation des produits obtenus); malheureusement un retard de l'imprimeur l'oblige à ajourner cette présentation.

M. le Président croit devoir faire mention de ces faits pour indiquer à ceux des membres de la Société qui voudraient s'occuper de cette étude la voie dans laquelle leurs travaux pourraient être utiles; puisque les égouts collecteurs sont exécutés ou à la veille de l'être, on conçoit que l'intérêt qui s'attache aux observations de M. Rey subsiste, mais qu'il doit conduire à des solutions d'un autre ordre que si l'on se trouvait seulement en présence d'un avant-projet ou même d'un projet. Les études peuvent avoir seulement aujourd'hui pour objet le barrage en aval de Paris et le choix des systèmes et appareils destinés à l'élévation des eaux sur un niveau déterminé. A ce point de vue, elles ne sont pas sans importance.

Mais est-ce là seulement tout ce qu'il convient de considérer dans cette grande question de l'assainissement des villes? L'utilisation des eaux par les moyens les plus économiques est à l'ordre du jour; et perdre les produits des déjections ou ne les utiliser qu'en partie n'est qu'un moyen incomplet et peu satisfaisant; les transporter à distance pour éviter l'infection est très-coûteux.

Supprimer le jet dans les égouts de la majeure partie des immondices, s'opposer à leur fermentation et les conserver à l'état pur pour les besoins de l'agriculture, telle est une solution du problème qui semble d'une réalisation plus pratique et qui n'exigerait pas des millions. Sous ce rapport, Paris est déjà beaucoup plus favorisé que Londres, où les égouts collecteurs sont chargés d'enlever non-seulement les eaux vannes, mais encore les matières fécales elles-mêmes.

M. LE PRÉSIDENT appelle l'attention des membres de la Société sur cette face de la question.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. Foucou en réponse à celle de M. Siéber, relative aux gisements de pétrole.

M. Foucou indique qu'à l'occasion de sa récente communication sur le gisement de pétrole des Karpathes, M. Siéber a adressé une lettre qui a été lue dans la séance du 20 octobre dernier. Cette lettre confirme la nouvelle de la découverte d'un gîte important de pétrole dans les Abruzzes citérieures (sur le versant oriental des Apennins), et cette découverte confirme à son tour la théorie qui voudrait rattacher les épanchements bitumineux aux phénomènes de dislocation de l'écorce terrestre.

En effet, le dépôt de pétrole que M. Laschi vient de rencontrer à 30 mètres de profondeur (avec l'aide d'un appareil de sondage construit par MM. Dégousée et Laurent), ce dépôt fournit, avec celui de Poretta, situé plus au nord, et avec ceux du Parmésan, un alignement parallèle à la crête des Apennins. Les gîtes de pétroles paraissent, en un mot, se grouper sur le versant oriental de cette chaîne de montagnes, comme ils se groupent sur les versants nord et est de la chaîne des Karpathes. Dans les deux cas, les gisements affectent une direction générale qui est parallèle au système de montagnes correspondant. La disposition qui avait déjà frappé M. Foucou en Galicie paraît donc se reproduire dans la péninsule italienne.

Un autre fait curieux ressort de la direction commune aux gîtes du versant oriental des Apennins : prolongée vers le sud, cette direction vient passer dans l'île de Zante, célèbre pour ses nappes de pétrole. Il semble ainsi, à première vue, que le champ de fracture qui a livré passage aux produits hydro-carburés des îles Ioniennes soit dans une étroite connexion avec celui qui a formé les réservoirs du versant oriental des Apennins.

Il est à remarquer que le gisement de pétrole des Apennins est orienté du *nord-ouest* au *sud-est*, direction qui se reproduit en Galicie, où elle correspond au grand champ de fracture qui va des bouches de l'Oder aux bouches du Danube. C'est aussi la direction du système du *Thuringerwald*, indiqué par M. Élie de Beaumont comme l'un des grands cercles les plus importants du réseau pentagonal.

M. Foucou croit que M. Siéber rattache à tort les gîtes des Apennins à ceux de l'Alsace. Il a consulté de nouveau le globe sur lequel M. Laugel a tracé les lignes principales du réseau, et il pense toujours que les gîtes d'Alsace appartiennent au faisceau dont l'axe primitif est le grand cercle de l'Amazone, du haut Danube et de l'Oural. Seulement, en citant de mémoire dans la séance du 15 septembre, il avait commis l'erreur d'aligner les gîtes d'Alsace le long de l'axe primitif, tandis qu'en réalité ils sont relevés par un grand cercle voisin, qui est parallèle à cet axe et fait partie du même faisceau que lui. Du reste, cette direction a quelque chose de remarquable aussi, elle court du *sud-ouest* au *nord-est*, coupant à angle droit la direction du gisement des Apennins, celle du système du Thuringerwald et celle du gisement des Karpathes. M. Foucou espère signaler prochainement à la Société un gisement nouveau qui rentre dans cette seconde direction *sud-ouest nord-est*, et qui intéresse particulièrement notre pays.

Relativement à l'observation de M. Siéber sur la concordance que M. Foucou a cru reconnaître en Galicie, entre la distribution des arbres résineux et la direction des nappes d'huiles minérales. Il est évident que l'on a trouvé et que l'on trouvera

souvent du pétrole dans des contrées dépourvues d'arbres à résine. M. Foucou a voulu dire seulement que si l'explorateur rencontre des arbres résineux dans une région bitumineuse, alors surtout que cette région n'a jamais été déboisée (comme, par exemple, dans certaines parties des Karpathes), il ne doit pas négliger cet indice tiré de la végétation. Chacun sait d'ailleurs que la distribution géographique des espèces végétales est liée, non-seulement aux coordonnées des lieux terrestres, à leur altitude et à leur climatologie, mais encore à la composition des terrains que ces espèces habitent.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. Desbrière qui lui annonce qu'un décret impérial du 4 novembre 1865 concède à MM Brassey, Fell et Cie une ligne ferrée entre Saint-Michel et la frontière Italienne, ligne qui sera exploitée dans le système qui a fait l'objet de la communication du 20 octobre dernier.

La parole est donnée à M. Tresca pour exposer à la Société les résultats des études qu'il a faites sur les phénomènes qu'il a désignés sous le nom *d'écoulement des corps solides*.

M. TRESCA indique d'abord que, si l'on place une masse de plomb, d'étain, de cuivre, d'argent, etc., dans un cylindre assez résistant, percé d'un trou circulaire au centre de la partie inférieure, et qu'on exerce à la partie supérieure du bloc ainsi formé une pression suffisante, le métal sort par cet orifice en un jet comparable à un jet liquide; d'autres métaux, le fer par exemple, ont besoin d'être chauffés à une température plus ou moins élevée pour être soumis à la même expérience; mais quand la température est convenable, sans pour cela atteindre celle du blanc soudant, les mêmes résultats sont obtenus. Il y a là un véritable écoulement et l'on ne saurait mieux caractériser que par ce mot les déplacements moléculaires analogues. L'expérience faite sur l'écoulement des corps solides offre cet avantage, de permettre de retrouver la trace des déformations, de suivre les molécules dans leur marche (ce qui est presque impossible avec les corps liquides), et de déterminer les lois qui régissent les faits de cette nature.

Cette étude ne constitue pas de simples recherches donnant des résultats curieux, elle doit conduire à des résultats utiles et pratiques. Jusqu'à présent les solides ont été étudiés jusqu'à leur limite d'élasticité; l'étude de leur écoulement, quand ils sont soumis à des pressions considérables qui rendent les molécules mobiles comme celles des liquides, constitue un autre point de vue dont des déductions peuvent conduire à l'examen du travail mécanique nécessaire pour opérer les diverses transformations.

M. TRESCA décrit ensuite un certain nombre d'expériences qu'il a faites et montre les échantillons résultant de ces expériences.

Dans un cylindre creux très-résistant, percé d'un orifice circulaire à la partie inférieure, on met un cylindre de plomb de même diamètre; on presse énergiquement et le plomb s'écoule par l'orifice. L'expérience ainsi faite ne permet pas de voir sur le jet obtenu la disposition des molécules et de suivre leur mouvement.

Si l'on remplace ce cylindre par 20 disques de plomb, de 10 centimètres de diamètre et de 3 millimètres d'épaisseur, l'orifice ayant de 2 à 5 centimètres de diamètre, le jet obtenu a le même volume que la masse primitive, et, comme on a pu voir en coupant le jet suivant un diamètre, les 20 plaques, au bout d'un certain temps, sortent simultanément par l'orifice sous forme de tubes concentriques, les plaques

inférieures formant les tubes extérieurs. Le jet ainsi obtenu a été porté jusqu'à 60 centimètres environ de longueur. Avec un orifice de sortie plus petit on a pu obtenir des jets de 7 mètres de longueur présentant la même disposition.

En faisant varier la pression, la grandeur de l'orifice et le diamètre du cylindre, l'étain, le cuivre, l'argent, l'acier, ont donné des résultats identiques.

Dans quelques circonstances, les tubes ont pu être isolés les uns des autres, au moyen de précautions plus minutieuses.

Des pâtes céramiques, soumises aux mêmes expériences, se sont conduites de même; seulement, comme on pouvait craindre qu'il n'y eût soudure entre les faces des disques primitifs, on avait soin de les saupoudrer avec de l'ocre rouge, dont la trace était très-visible après l'écoulement.

M. Farcot, sur les indications de M. Tresca, a bien voulu soumettre à l'expérience, dans une étampe percée d'un orifice de 5 centimètres, deux plaques de fer de 15 centimètres de largeur, de 8 centimètres d'épaisseur, chauffées au-dessous du blanc soudant; l'étampe s'est cassée; mais le jet avait déjà une longueur de $0^m,08$, et en faisant une section longitudinale par l'axe du jet, en la polissant et en l'attaquant par des acides faibles, on a pu voir que les lignes de joint des mises horizontales s'étaient infléchies de la même manière qu'en opérant sur les disques de plomb ou d'étain.

On pouvait craindre que l'emploi de disques, séparés par des plans horizontaux, ne fût une cause déterminante du mode d'écoulement observé. Une expérience ultérieure a levé tous les doutes à cet égard.

On a pris un cylindre en plomb, coupé suivant un plan diamétral, puis ce cylindre a été soumis, comme à l'ordinaire, à une pression suffisante; le jet s'est produit sans que les deux surfaces de joint se soient soudées. Mais quelques grains, sans doute plus durs, ont tracé, sur la surface de séparation, des sillons dont la forme était celle qui avait déjà été constatée dans les expériences précédentes.

Il y a donc une loi que M. Tresca a voulu traduire en formule. Si on considère un bloc placé dans la matrice, on peut par la pensée le supposer comme formé de deux cylindres concentriques, l'un correspondant à l'orifice d'écoulement, l'autre enveloppant celui-ci.

Si on exerce une pression à la partie supérieure, toute la matière de l'anneau extérieur est soumise à cette pression, et pour que l'écoulement se produise, il faut nécessairement que le déplacement ait lieu vers le centre.

Il résulte de la symétrie du bloc soumis à l'expérience que le solide résultant de la transformation du cylindre central doit être un solide symétrique par rapport à l'axe.

M. Tresca, pour traduire algébriquement le chemin d'une molécule, a admis que le volume transformé était égal au volume primitif, ce que l'expérience lui avait appris, et que tous les anneaux que l'on peut concevoir à l'extérieur du cylindre central conservent toujours entre leurs sections horizontales et pendant qu'ils sont ensemble, soumis à la même pression, un rapport constant.

Si on désigne par R le diamètre du bloc total dans la matrice, par H la hauteur primitive de ce cylindre, par R_1 le rayon du jet, la formule qui donne la transformée d'une génératrice primitive du cylindre central est

$$y = \frac{R^2 H}{R_1^2}\left[1 - \left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}}\right].$$

M. Tresca a voulu vérifier cette formule par l'expérience : il a mis dans la matrice percée d'un orifice de 0,03, d'abord deux disques pleins d'une épaisseur de 0m,003, et au-dessus de ces plaques une autre rondelle de plomb de 0m,024 d'épaisseur; cette rondelle avait été percée, suivant son axe, d'un trou cylindrique de 0,03 de diamètre, et ce trou avait été rempli avec un bouchon cylindrique de même matière, aussi bien ajusté que possible.

La surface de joint entre la rondelle et ce bouchon constituait ainsi le cylindre central primitif, et en recherchant la transformée de cette surface après l'écoulement on a pu vérifier, sur une section méridienne, l'exactitude de la formule, ce qui établit que les hypothèses faites se rapprochent suffisamment de la vérité.

Ainsi donc toutes les pressions sont égales autour du cylindre central; la pression se transmet dans tous les sens, dans les solides comme dans les liquides.

Il résulte de ces faits que l'écoulement a lieu suivant une loi que l'on pourrait appeler la loi de la concentricité des couches, qu'il conviendrait en conséquence de substituer à celle du parallélisme des tranches.

Une autre expérience vient confirmer encore ce rapprochement.

Si on fait écouler une masse solide d'une faible épaisseur par rapport au diamètre de l'orifice d'écoulement, le jet n'est pas plein, mais évidé intérieurement, et il se produit à l'intérieur une contraction marquée de la veine. L'épaisseur de la paroi du jet étant insuffisante pour résister aux pressions latérales, cette paroi s'est déplacée vers le centre comme cela se produit dans les liquides à la fin de la vidange d'un vase. L'évidement intérieur qui se produit dans les liquides a été utilisé industriellement dans la construction des trompes employées comme souffleries.

Les échantillons que présente M. Tresca font voir cet effet d'évidement et de contraction qui peut être ainsi mesuré dans ses formes géométriques.

M. Tresca a étudié aussi ce qui se passe quand l'orifice est polygonal. Il n'y a plus symétrie autour de l'axe, et les phénomènes d'écoulement se produisent dans d'autres conditions que celles indiquées précédemment pour un orifice circulaire placé dans l'axe de la matrice contenant le métal qui s'écoule.

Si on considère un orifice triangulaire, au fond d'une matrice cylindrique, et qu'on imagine deux secteurs, de même angle au centre, comprenant l'un un des sommets du triangle et l'autre correspondant au milieu de l'un des côtés, il est évident que le secteur correspondant au sommet serait trop petit pour fournir à l'écoulement par la partie correspondante du triangle, tandis que l'autre secteur sera trop grand pour fournir à l'écoulement de la partie du triangle qu'il comprend; si on admettait, comme précédemment, que le déplacement se fasse suivant des rayons, il doit donc y avoir déplacement de torsion suivant certaines courbes, dans le sens horizontal et allant du milieu des côtés vers les sommets, c'est-à-dire, dans six sens différents, si le jet est plein et de longueur égale : c'est ce que l'expérience a démontré.

Un cylindre en plomb, coupé par un plan méridien, a été mis dans la matrice percée d'un orifice triangulaire, la pression a été exercée, et lorsque le bloc métallique a été retiré on a vu que le plan de joint s'était transformé en une surface courbe, s'infléchissant vers l'un des sommets du triangle. Avec un jet quarré, M. Tresca a obtenu des sortes de dés dérivant de la forme quadrangulaire et s'emboîtant les uns dans les autres.

Lorsque l'écoulement a lieu simultanément par deux orifices, l'orifice le plus grand absorbe le plus petit; dans ce cas les couches ne sont plus concentriques,

elles s'amoncellent du côté du gros jet, tandis qu'il se produit dans celui-ci des pointes très-marquées.

Si plusieurs petits orifices sont disposés autour d'un jet central plus gros, celui-ci affecte les petits jets comme précédemment, mais il est lui-même affecté par l'action de ces petits jets et les sections transversales prennent des formes polygonales très-régulières et très-caractéristiques.

L'expérience a été faite avec une matrice dans laquelle le jet central était entouré symétriquement de six jets plus petits.

Quand on emploie un grand nombre d'orifices de même section, chaque orifice donne passage à un jet formé de tubes concentriques.

Dans le poinçonnage des métaux, dans le cisaillement, il se produit des déplacements moléculaires que l'on doit rapporter à l'écoulement des solides; seize plaques de plomb quarrées de $0^m,12$ de côté, formant ensemble 64 millimètres d'épaisseur, ont été réunies et poinçonnées en même temps avec un poinçon de 20 millimètres de diamètre.

La débouchure avait en diamètre la même dimension que le poinçon; mais la hauteur était de 34 millimètres seulement. La densité du métal n'avait cependant pas changé, et, en faisant une section par un plan méridien, les quinze lignes de joint du bloc primitif ont été retrouvées dans cette débouchure; mais tandis que la plaque supérieure et les trois plaques inférieures avaient conservé à peu près leur épaisseur primitive, les plaques intermédiaires n'étaient représentées, dans la coupe, que par une épaisseur très-réduite.

Il y a donc eu élimination latérale dans la partie supérieure du bloc, là où la résistance dans le sens horizontal était moindre que celle de toutes les couches placées au-dessous du poinçon.

Mais ceci n'explique pas la conservation d'épaisseur de la première couche qui peut être comparée à la masse d'eau invariable qui semble être chassée par la proue d'un navire, dont Dubuat et d'autres physiciens ont en vain cherché de déterminer les dimensions et la forme. Dans l'expérience du poinçonnage, cette proue est tangible et se produit toujours dans les mêmes conditions.

En effet, si on creuse sur la face supérieure du bloc à poinçonner une cuvette hémisphérique, remplie exactement par un hémisphère de plomb de même diamètre que le poinçon, au point où ce poinçon agit, on voit l'émisphère se transformer en une lentille, en déposant le long du vide fait par le poinçon une partie de sa matière, qui forme ainsi une sorte de tube intérieur.

M. Houel a bien voulu faire poinçonner quelques rondelles de fer de $0^m,06$ d'épaisseur obtenues au moyen de mises horizontales; sur la débouchure coupée suivant un plan méridien on a vu que les mises s'étaient courbées comme pour les rondelles en plomb superposées. Ce phénomène de déplacement latéral est donc général. Le cisaillage produit également des effets de même nature.

Ce ne sont pas là les seules circonstances dans lesquelles ont lieu les phénomènes d'écoulement.

Si on superpose des plaques d'étain en certain nombre, six par exemple, formant ensemble un bloc cylindrique, et si on soumet ce cylindre à une pression, ce cylindre s'écrase, et il se produit un écoulement du centre vers la circonférence; les plaques prennent la forme de lentilles dont les surfaces de joint semblent être des paraboloïdes de révolution et dont les sommets sont symétriquement placés sur l'axe du cylindre; cet effet se produit avec le plomb, avec la cire, les pâtes céramiques, etc.

Si on écrase un bloc formé de cylindres concentriques, il se produit au milieu de la hauteur du cylindre des renflements considérables; la paroi des tubes extérieurs s'infléchit et il y a continuité dans la paroi des tubes déformés; mais néanmoins on peut vérifier sur les bases du cylindre déformé que les extrémités de tubes occupent à peu près la même position qu'avant l'expérience, les génératrices extérieures s'étant en quelque sorte infléchies dans le plan de ces bases à chacune de leurs extrémités.

Si on forge, perpendiculairement à l'axe, un cylindre en plomb, formé de la réunion de tubes concentriques, suivant qu'on frappe à grands coups ou à petits coups de marteau, on peut produire à volonté l'allongement des tubes centraux ou des tubes de l'enveloppe, et ceci s'explique parce qu'en frappant à grands coups l'effet du choc se transmet aux tubes centraux qui profitent alors de chaque action extérieure, tandis qu'en frappant à petits coups, l'effet du choc ne se transmet pas jusqu'au centre, et les tubes extérieurs seuls s'allongent.

On comprend par ces deux expériences que pour l'étampage des métaux certaines précautions doivent être prises et qu'il faut étudier, suivant la forme de la matrice à employer, comment on devra agir pour faire épouser au métal la forme de l'étampe.

Dans le burinage, le rabotage, le taraudage et l'alésage des métaux, il y a encore des phénomènes d'écoulement. Toutes les fois qu'on obtient un copeau, celui-ci a la largeur de l'outil qui le produit, mais sa longueur n'est que le tiers environ de la largeur de la surface sur laquelle il a été enlevé. Son épaisseur est, par contre, beaucoup plus grande que l'épaisseur primitive. C'est qu'en effet la résistance moindre se trouve ici dans le sens de l'épaisseur et que c'est dans ce sens que l'écoulement se produit.

M. Tresca présente à l'appui un copeau provenant d'un bandage de roue, sur lequel on remarque que les parties correspondantes à l'emplacement des rivets présentent un trou elliptique dans lequel le grand axe correspond au diamètre primitif du rivet, et le petit axe résulte du raccourcissement qu'a subi le copeau dans le sens de sa longueur en se détachant du bandage.

Il y a donc lieu d'étudier encore pour les travaux mécaniques de ce genre comment ils doivent être exécutés pour être faits dans les meilleures conditions et avec la moindre dépense de travail.

M. Tresca prie les membres de la Société de vouloir bien lui réserver les échantillons de forge et autres qui pourraient jeter quelque jour sur ces mouvements moléculaires dans les opérations de l'industrie.

En terminant cet exposé, que l'heure avancée ne permet pas d'étendre davantage, M. Tresca fait remarquer que beaucoup des phénomènes qui se sont produits, et qui se produisent journellement dans la nature; doivent être rapprochés des faits exposés précédemment, et peuvent être expliqués par eux. Par exemple, les phénomènes géologiques, le développement des végétaux, etc., etc., et en un mot que la nature entière obéit à une loi générale que jusqu'à ce jour on avait crue applicable seulement aux liquides, tandis que les mouvements observés dans ces fluides ne seraient, suivant lui, qu'un cas particulier du phénomène général de l'écoulement.

Sur une observation de M. Rouyer, M. Tresca indique qu'il a cherché à vérifier sur l'écoulement des liquides les faits reconnus pour les solides, que les résultats relatifs aux cavités centrales ont été les mêmes, mais que les expériences n'ont pas eu le

même caractère de netteté par suite de l'impossibilité de conserver la trace des phénomènes.

M. LE PRÉSIDENT, avant de lever la séance, remercie M. Tresca de son intéressante communication, qu'il le prie de vouloir bien continuer dans une autre séance.

Séance du 1er Décembre 1865.

Présidence de M. SALVETAT.

Le procès-verbal de la séance du 17 novembre est lu et adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce encore le décès de trois nouveaux membres, MM. Alexis Barrault, Bourdon (François) et Oscar Valério.

M. BARRAULT (Alexis), sorti de l'École centrale en 1836, avait fait avec M. Polonceau tous les projets des spécialités de constructeur et de mécanicien et concouru dans les deux sections.

Il entra dans le cabinet d'ingénieur de M. Eugène Flachat, et, peu de temps après, se rendit à Vierzon pour organiser et diriger les hauts fourneaux et la fabrication du fer de cette usine; c'est là qu'il acquit les connaissances qui lui permirent de faire, avec MM. Flachat et Petiet, l'ouvrage en trois volumes sur le fer et la fonte, qui fut publié en 1842 et qu'on consulte encore aujourd'hui avec le plus grand fruit.

Il fut alors secrétaire du Comité métallurgique et s'occupa de différents travaux d'ingénieur en France et à l'étranger; puis, nommé ingénieur en chef du chemin de fer de Versailles (rive gauche), il resta dans cette position jusqu'au moment où il entra au chemin de fer de Paris à Lyon avec le titre d'ingénieur en chef du matériel. Il organisa alors le beau matériel de ce chemin de fer d'après ses plans. Ce matériel fut considéré le plus complet et le meilleur pendant longues années.

Il fut ensuite chargé de la ligne de Gray à Saint-Dizier, il quitta ses fonctions au moment où ce chemin de fer fut annexé à la ligne de l'Est.

C'est lui qui dirigea les travaux de construction du palais de l'Industrie et des annexes en 1855. C'est à cette occasion qu'il fut nommé chevalier de la Légion d'honneur.

En dernier lieu, il s'occupait d'études particulières et de l'expertise des grands travaux de chemins de fer.

Enfin, au moment où la mort l'a frappé, il dirigeait les études des chemins de fer du Pas-de-Calais et celles d'un chemin de fer dans l'Asie Mineure.

La mort vient encore d'enlever M. Bourdon.

La puissance d'invention qui a si brillamment marqué la carrière de cet ingénieur était égale à la simplicité de ses habitudes, de ses goûts et de son langage. Doué d'une extrême bienveillance, il s'est acquis de fortes amitiés, et il laisse un profond souvenir de reconnaissance chez un grand nombre d'ingénieurs.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une notice biographique sur M. François Bourdon, par M. E. Flachat, dans laquelle sont exposées les œuvres principales dues à cet ingénieur, telles que l'invention du marteau-pilon; celle de l'hélice, simple et double, appliquée à la navigation, pour laquelle il prit un brevet en 1824; la navigation à vapeur sur le Rhône; les mazeries et la disposition des moteurs dans les forges; la fabrication, sans soudure, des bandages de roues de locomotives et wagons; les portes mobiles en fer des écluses du canal maritime du fort Saint-Jean, à Marseille, les cales sèches à plan incliné pour les navires dont la carène exige des réparations; les appareils pour réunir les différentes parties des bateaux de rivière expédiées par parties séparées, etc.

La notice de M. Flachat sera prochainement insérée dans le Bulletin de la Société.

M. Valério, dont le décès vient d'être annoncé à l'ouverture de la séance, avait été pendant longtemps assidu aux séances de la Société. Sorti de l'École centrale en 1838 avec le diplôme de chimiste, il a dirigé, en Russie, pendant cinq ans, des fabriques de sucre.

Il a été ingénieur des ateliers de carrosserie au chemin de fer du Nord pendant quatre ans et ingénieur de l'usine d'Angleur, appartenant à la Vieille-Montagne, pendant cinq ans. Appelé pendant plusieurs années à la direction de la fabrique de glaces d'Aix-la-Chapelle, il a rédigé sur cette industrie une notice très-estimée. En dernier lieu ingénieur du matériel des chemins de fer Romains depuis trois ans. Malade depuis longtemps, il vient de s'éteindre, à Saint-Germain, éloigné des travaux de sa profession.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture d'une lettre de M. Perdonnet, qui regrette de n'avoir pu assister aux services funèbres de MM. Richoux et Alexis Barrault, devoir que lui imposait son titre de président honoraire.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre de M. Simonin, par laquelle ce sociétaire annonce qu'il adresse un exemplaire d'un opuscule qu'il vient de publier sur la *Richesse minérale de la France;* c'est une nouvelle édition revue et complétée de la brochure qu'il a offerte, il y a quelques mois, à la Société.

Ce mémoire est original, il intéresse l'art de l'ingénieur, et, bien qu'imprimé, M. Simonin pense qu'il peut concourir à la médaille d'or offerte par la Société, et c'est dans ce but qu'il l'adresse à la Société.

M. LE PRÉSIDENT analyse ensuite une lettre de M. Lucien Renard, dans laquelle ce sociétaire dit avoir lu, dans le bulletin de la séance du 17 novembre, que l'attention de la Société a été appelée sur le projet de M. A. Cavé au point de vue de la suppression du jet, dans les égouts, de la majeure partie des immondices et de leur conservation à l'état pur pour les besoins de l'agriculture.

L'engrais humain est le meilleur de tous les engrais, le plus élaboré, le plus abondant, et le mieux réparti dans les divers lieux de consommation. Il est plus riche que le fumier d'étable; on doit donc le recueillir et l'utiliser au moins avec autant de soin que l'on en met à conserver et à employer le fumier des animaux.

Un hectolitre d'engrais humain produit un hectolitre de blé. L'agriculteur est dans une situation peu prospère, il manque de bons engrais à bas prix, et il marche d'autant plus rapidement vers l'épuisement des terres, qu'il veut faire une culture intensive pour compenser les prix faibles des céréales.

Jusqu'ici le gaspillage de l'engrais humain, cette véritable richesse nationale, n'a

été que le résultat de l'insouciance ; mais il est de la plus haute importance qu'il ne soit pas continué, et l'administration qui en consacrerait le principe par des règlements commettrait une grande faute, d'après M. Renard.

M. Lucien Renard indique des procédés de récolte et d'utilisation des engrais humains, qui sont mis en pratique à Paris, notamment le procédé de MM. Blanchard et Chateau et celui de M. Mosselmann.

Il exprime le désir que la Société des Ingénieurs civils nomme une commission chargée d'examiner ces procédés, notamment au point de vue de leur facilité d'application, et d'en faire prochainement un rapport dont les conclusions pourraient être communiquées à la commission municipale, si le comité le juge utile.

M. le Président fait remarquer qu'il ne rentre pas dans les usages de la Société de faire des rapports dans des intérêts particuliers. Tous les membres étant admis, sous leur responsabilité privée, à entretenir la Société des sujets dont ils se sont occupés, M. Lucien Renard peut, quand il le voudra, faire une communication sur les procédés et appareils qui, à sa connaissance, fonctionnent à Paris dans des conditions désirables d'économie et de salubrité.

M. Tronquoy fait observer que l'étude du système proposé par M. Mosselmann a été faite par les ingénieurs de la ville de Paris.

On avait autorisé son application dans quelques urinoirs du boulevard., et depuis un mois environ on a supprimé les appareils pour les remplacer par une autre disposition.

Tout le monde a pu lire un communiqué adressé par l'Administration à un journal politique qui avait demandé la généralisation de l'application du système Mosselmann.

De plus, la Société, aux termes de son règlement, ne peut intervenir dans la question en tant que Société.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. Flavien, membre de la Société, qui adresse un mémoire sur un nouveau type d'ouvrage d'art. M. Flavien indique qu'il y a quelques années, chargé de l'étude d'une section de chemin de fer dans le gouvernement de Koursk, la localité dans laquelle il se trouvait était complétement dépourvue de pierre de taille, qu'on ne pouvait se procurer qu'à des prix très-élevés.

En revanche, la terre à briques se trouvait presque partout à pied d'œuvre. Ces circonstances ont forcé de rechercher une combinaison qui permît de limiter l'emploi de la pierre de taille, et même de la supprimer au besoin dans la construction des petits ouvrages d'art assez nombreux dans cette partie du tracé.

Il est résulté de cette recherche un nouveau type d'ouvrage d'art, dont un modèle en plâtre a été construit par la Compagnie.

Outre l'avantage de ne pas offrir d'angles dans les parties ordinairement soumises au choc des eaux, et par conséquent de permettre de supprimer totalement l'emploi de la pierre de taille, ce modèle offre une élégance remarquable ; les abords y sont bien et largement aménagés, et les eaux beaucoup mieux conduites que dans tout autre système.

Dans la note annexée au dessin, M. Flavien compare ce type avec les types ordinaires de murs droits avec quarts de cône ou des murs en ailes. Des calculs assez longs démontrent que, dans tous les cas ordinaires de la pratique, le nouveau système offre un cube de maçonnerie inférieur à celui des types qui lui sont comparés.

En France, combiné avec un emploi raisonné de la pierre de taille, il pourrait offrir un type nouveau assez curieux et très-élégant; cette étude pourra être utile aux ingénieurs qui se trouveront placés dans des circonstances analogues.

M. Flavien a l'intention de faire exécuter un modèle d'une tête de ce type pour aqueduc à une échelle réduite, et de l'offrir à la Société.

M. LE PRÉSIDENT pense que cette question est assez intéressante pour qu'elle soit mise à l'ordre du jour d'une des prochaines séances, et M. Flavien sera engagé à faire une communication sur cet objet.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Rouyer pour la communication de sa note sur la chaudière Field.

M. ROUYER communique d'abord quelques extraits d'une brochure publiée par M. Francis Wise sur la chaudière en question.

M. FRANCIS WISE commence par poser ce principe « qu'une chaudière est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant meilleure qu'elle fournit la vapeur dans un temps plus court et occupe moins de place; à condition toutefois qu'on ne sacrifie à ces deux avantages ni l'économie de combustible, ni la sécurité. »

Il montre ensuite que les chaudières de Cornouailles, ou leurs congénères, ne satisfont pas à ces conditions; c'est un type imparfait en principe, car l'eau y absorbant lentement la chaleur, on ne peut produire une combustion rapide sans perdre une grande partie du produit de la combustion par la cheminée; un chauffage lent peut donc seul être économique, mais encore, dans ce cas, on perd beaucoup de chaleur par les longs carnaux qu'exige forcément ce type de chaudière.

Selon M. Wise, les dispositions usuelles des chaudières tubulaires laissent également à désirer; la flamme y est trop tôt éteinte par son passage dans de petits tubes, et les produits de la combustion traversent une longueur notable de la partie tubulaire, privés de la chaleur qui leur a déjà été enlevée par l'eau environnante. — La circulation de l'eau est aussi défectueuse.

La chaudière Field diffère des types précédents, en ce qu'au lieu de faire circuler les produits de la combustion en filets capillaires à travers la masse d'eau, c'est l'eau elle-même qui circule ainsi à travers les gaz chauds dans la partie la plus chaude de la chaudière et avec une rapidité d'écoulement proportionnelle à l'intensité de la combustion.

Pour réaliser son principe, M. Field garnit le foyer de sa chaudière d'une série de tubes doubles dans lesquels s'effectue la circulation de l'eau. Si on examine un système de tubes, on voit qu'il se compose d'un premier tube extérieur plongeant dans la chambre de combustion, l'extrémité près du feu est fermée, l'autre extrémité est ouverte et fixée au ciel du foyer, le second tube ouvert par les deux extrémités pénètre dans le premier, mais ne va pas jusqu'au bout qui est fermé, il dépasse au contraire l'extrémité ouverte au-delà de laquelle il s'évase en entonnoir pour faciliter le mouvement de l'eau.

Lorsqu'on met en feu, l'eau qui occupe l'espace circulaire entre les deux tubes s'échauffe la première, devient plus légère, monte, et se trouve remplacée par l'eau qui occupait le tube central, et la circulation une fois établie se continue.

La disposition de ces chaudières présente sur les chaudières tubulaires usuelles deux avantages marqués : 1° la flamme peut circuler au loin, sans s'éteindre, puisqu'on lui laisse plus d'espace; 2° les tubes n'étant fixés que par une extrémité se dilatent plus librement et donnent moins de fuites. On a pu congeler et dégeler plusieurs fois l'eau d'un tube Field, sans altérer le métal.

L'application du système Field se ploie bien aux diverses exigences de la pratique, il peut s'appliquer aussi bien aux chaudières de bateaux et aux chaudières locomobiles qu'aux chaudières fixes.

Dans les chaudières de bateaux, qui contiennent beaucoup de surfaces planes, il est facile de placer les tubes dans les carnaux. On peut, à cause de l'activité de la circulation, employer sans crainte de l'eau sursaturée, les dépôts qui se forment étant pulvérulents et constamment balayés par les courants, on peut aussi réduire considérablement le volume de l'eau, ce qui est avantageux au point de vue du roulis.

Le système est encore bien avantageux dans les cas où une très-grande légèreté de chaudière ajoutée à une grande facilité de déplacement et de mise en pression ont plus d'importance que l'économie du combustible, ce qui est le cas des machines à incendie. Pour cette application on a supprimé le réservoir d'eau annulaire formé autour du foyer par la double enveloppe.

M. Rouyer donne ensuite quelques détails sur les résultats fournis par diverses machines à incendie munies de chaudières Field; ces chaudières ont donné des résultats comparables à ceux de la majorité des chaudières fixes, malgré les conditions peu économiques de fonctionnement dans lesquelles se trouvaient les machines.

M. Rouyer cite encore d'après le *Mechanics magazine*, l'exemple d'une chaudière fixe qui a marché nuit et jour pendant 6 mois, et le jour seulement pendant 3 mois. On la visitait tous les trimestres et on n'a remarqué d'incrustation que dans les parties où la circulation était la moins active, les tubes n'avaient pas besoin d'être nettoyés. Dans cette machine, en évaluant à 3^m par seconde la vitesse de l'eau dans les tubes, on arrive à conclure qu'un volume d'eau égal à la contenance moyenne de la chaudière passe dans le foyer en 6 secondes.

M. Rouyer passe ensuite à l'examen critique du travail de M. Wise qu'il divise en deux parties : étude des chaudières en général, étude de la chaudière Field en particulier.

Dans le premier ordre d'idées, M. Rouyer ne partage pas entièrement la manière de voir de l'auteur.

M. Wise s'exagère la perte de chaleur due à l'absorption des carnaux; à cause de la faible capacité calorifique de la matière, il faut assez peu de chaleur pour les échauffer et à cause de sa faible conductibilité le flux de chaleur qui passe est faible. D'un autre côté, comme les gaz circulent sensiblement par filets parallèles, les parties qui lèchent les carnaux créent ainsi un foyer de rayonnement vers la chaudière en cédant leur chaleur au briquetage.

Il est vrai, comme le dit M. Wise, que pour certaines chaudières on ne peut augmenter sensiblement l'intensité de la combustion sans perdre beaucoup de chaleur; mais si la chaudière était munie d'une grande surface de chauffe cela n'aurait pas lieu. M. Rouyer pense qu'il serait possible de disposer les chaudières pour réduire la surface de chauffe avec l'intensité de la combustion, ou régler le tirage avec des gaz chauds envoyés directement du foyer. Mais il ne peut pas admettre avec M. Wise que certains types de chaudières sont défectueux en principe.

M. Rouyer n'admet pas qu'une chaudière est d'autant meilleure que son volume est plus petit. Dans l'industrie, on doit au contraire donner aux chaudières un volume aussi grand que possible, afin de tenir compte des variations inévitables dans l'intensité de la combustion ou dans la consommation de la vapeur par la machine. L'excès de volume donné à la chaudière constitue ainsi une sorte de régulateur de calorique où la machine peut puiser sans faire baisser trop sensiblement la pression,

et qui donne au foyer le temps de prendre une activité en rapport avec le besoin de la consommation. Du reste, le volume devra varier avec le type de chaudière : avec une chaudière à foyer extérieur, le volume devra toujours être plus grand qu'avec un chauffage à foyer intérieur, puisque, dans ce dernier cas, la surface de chauffe peut être plus développée.

Le reproche que fait M. Wise aux chaudières tubulaires ordinaires est fondé, la chambre des combustions y est généralement trop petite et la flamme trop tôt éteinte dans les tubes.

Passant ensuite à l'examen de la partie du mémoire qui traite de la chaudière Field, M. Rouyer est d'accord avec M. Wise quand il dit que l'inventeur a trouvé un moyen simple et efficace de produire derrière la surface de chauffe une agitation rapide qui, tout en aidant beaucoup à la mise en pression, empêche les incrustations en produisant une précipitation pulvérulente des sels en dissolution.

Mais le changement des tubes ne lui paraît pas aussi facile que M. Wise semble le faire croire. Il faut en effet vider la chaudière pour remplacer un tube, tandis que dans les chaudières tubulaires usuelles, on peut tamponner le tube sans arrêter le chauffage.

Comme conclusion, sans partager ni les préventions de M. Wise contre les chaudières ordinaires, ni son enthousiasme pour la chaudière Field, M. Rouyer pense que cette dernière peut recevoir d'utiles applications surtout pour les machines à incendie et pour celles des bateaux à vapeur où la régularité de marche n'étant pas indispensable, on peut avoir des chaudières très-petites ; mais il n'en conseillerait pas l'emploi pour machines fixes, au moins d'une manière générale. Il ne les croit pas du tout applicables aux locomotives parce qu'un accident à un seul tube forcerait d'arrêter le train.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. Tronquoy pour faire l'analyse d'une note de M. Jousselin sur l'*appareil alimenteur régulateur automoteur* de MM. Valant frères et Ternois.

M. TRONQUOY se propose de faire cette analyse aussi brièvement que possible, quoique les résultats obtenus jusqu'à ce jour avec l'appareil de MM. Valant et Ternois aient été tout à fait satisfaisants.

Il ne décrira que l'ensemble; ceux que l'appareil pourrait intéresser en trouveront les détails soit dans la note de M. Jousselin, soit dans deux notes parues, l'une dans la *Revue universelle*, de Cuyper (numéro d'août 1865), l'autre dans les *Annales des Mines*, 3e livraison, par M. l'ingénieur Worms de Romilly.

« Alimenter les chaudières selon leurs propres besoins sans l'intervention du chauf-
« feur, c'est, dit M. Jousselin, remédier aux dangers que peuvent présenter les oublis
« ou les inattentions du service ; la plupart des accidents se produisant par suite de
« l'insuffisance de l'eau dans les chaudières.

« MM. Valant et Ternois, directeurs et ingénieurs des forges d'Imphy, ont appli-
« qué à des générateurs de leur usine un nouveau système d'alimentation qui a
« fourni, depuis une année, les résultats les plus avantageux dans le service de ces
« générateurs.

« L'application de ces appareils a été faite à Imphy, d'abord sur une chaudière
« verticale chauffée par les flammes perdues de deux fours à puddler; ensuite sur
« deux chaudières horizontales tubulaires (système Farcot), de la force de 80 che-
« vaux »

Le but de l'appareil alimentaire de MM. Valant frères et Ternois est de régulariser l'alimentation dans la chaudière où on injecte, à l'aide d'une pompe foulante, et d'une manière continue, le liquide qui doit y être introduit. L'excès de liquide fourni par la pompe est enlevé par une soupape de décharge placée en avant de l'appareil, sur la conduite alimentaire.

L'appareil, réduit à sa plus simple expression, consiste en une soupape placée dans la conduite alimentaire, et mue par une tige verticale attachée à une des extrémités d'un levier dont l'autre extrémité porte un flotteur.

Ce flotteur, dont la position est déterminée par celle du niveau de l'eau dans la chaudière, fait agir le levier qui ouvre ou ferme la soupape.

On règle la longueur relative des deux bras de levier d'après la pression qu'exerce le liquide sur la soupape.

Le levier est compris dans une sorte de boîte, qu'on fixe dessus ou latéralement à la chaudière, suivant que celle-ci est horizontale ou verticale, et la tige de la soupape sort de cette boîte en passant dans un stuffing-box.

La soupape est elle-même comprise dans une boîte à soupape, placée sur un point intermédiaire de la conduite alimentaire. En avant de cette boîte à soupape est une sorte de filtre, pour arrêter les matières solides entraînées par l'eau. En arrière, entre la chaudière et la boîte à soupape, est une seconde soupape (dite soupape de retenue), qui permet de démonter l'appareil sans vider la chaudière.

Les détails d'exécution de cet appareil sont très-ingénieux et méritent d'être étudiés.

Depuis l'installation des alimenteurs appliqués aux usines d'Imphy, on n'a pas constaté le plus petit dérangement dans leur fonctionnement, et c'est l'observation de leur marche journalière qui a permis d'apprécier les services qu'ils peuvent rendre.

M. Jousselin fait remarquer, en terminant sa note, qu'en dehors de l'application aux générateurs de vapeur, *l'alimenteur régulateur automoteur à niveau constant* de MM. Valant et Ternois pourra rendre de nombreux services lorsqu'il sera employé pour l'alimentation d'appareils dans lesquels un liquide doit être maintenu constamment à un même niveau.

M. Goschler donne ensuite communication de l'analyse qu'il a faite de la note de MM. Huet et Geyler sur *l'outillage et les procédés d'enrichissement des minerais.*

M. le Président fait remarquer que pour faire ressortir tous les points intéressants du travail de MM. Huet et Geyler, M. Goschler a été obligé d'entrer dans des détails qu'il serait peut-être bien long de reproduire *in extenso* dans le résumé de la séance; il pense donc que cette analyse fort bien faite serait plus à sa place dans le bulletin qui est sous presse en ce moment, et que les membres de la Société recevront dans le courant de janvier.

M. Alquié rend compte des essais faits au chemin de fer du Nord dans le but d'éviter les accidents résultant du bris des manivelles dans les treuils des grues roulantes à pierres.

Le chemin de fer du Nord emploie, pour le service des pierres, des grues composées d'une charpente mobile de 8 à 12 mètres de portée, sur laquelle se meut un treuil capable de lever des charges de 10,000 kil. avec quatre hommes aux manivelles. On peut à l'aide de ces appareils faire passer une pierre d'un wagon sur un chario et réciproquement, ou la mettre en dépôt.

Les ordres de service prescrivent aux hommes chargés de la manœuvre des treuils de ne jamais quitter les manivelles, même pour descendre les charges; mais comme la descente est plus difficile que la montée, pour aider les ouvriers pendant cette période du travail, les treuils étaient munis d'un frein ordinaire; malgré cette précaution, il arrivait souvent que la charge maîtrisait les hommes, et ceux-ci lâchaient tout.

Or, si on considère que les pièces en mouvement du treuil ne présentaient pas en totalité un poids de plus de 700 kilog., on comprend quelles énormes vitesses devaient prendre ces pièces, et notamment les manivelles, sous l'influence d'une charge de 10,000 kilog. abandonnée à elle-même.

En effet, les manivelles commençaient par se redresser, puis si la hauteur de chute était suffisante, elles se brisaient, étaient projetées quelquefois à des distances considérables. Dans tous les cas les ouvriers placés autour de l'appareil étaient exposés à être blessés ou tués, ce qui, malheureusement, est quelquefois arrivé.

Vivement préoccupé de ces accidents, on a d'abord cherché s'il était possible de faire des manivelles suffisamment résistantes, et, pour cela, on a commencé par augmenter leurs différentes sections; c'était une erreur; il n'était pas possible de donner à l'encastrement de la soie une section suffisante pour résister aux efforts résultant de l'action de la force centrifuge sur cette pièce; les manivelles se déformaient toujours.

Les recherches ont ensuite été désignées en sens inverse, et après avoir étudié un assez grand nombre de dispositions présentant toutes la soie effilée vers l'extrémité, on a reconnu que la meilleure consistait à encastrer la soie dans le bras, à la faire en acier fondu forgé pour lui donner plus de résistance à poids égal, et à l'équilibrer par un contre-poids placé de l'autre côté du bras pour combattre la tendance à la déformation de celui-ci.

Mais, en définitive, on n'a pas pu trouver une manivelle pouvant faire avec sécurité plus de 900 tours par minute. Il devenait donc nécessaire de rechercher les moyens d'empêcher ce nombre de tours d'être dépassé.

M. Alquié explique que c'est en plaçant sur l'arbre des manivelles des organes capables de faire naître un travail résistant, allant en augmentant, avec la vitesse que l'on a cherché à résoudre le problème, et il rend compte des premiers essais faits avec des plateaux munis d'ailettes et auxquels étaient fixées les soies équilibrées, essais qui réussirent complétement.

Ce n'est cependant pas à cette solution que l'on s'est arrêté; le calcul ayant, en effet, démontré que c'était bien moins aux ailettes qu'au grand moment d'inertie du système de manivelles qu'il fallait attribuer le bon effet produit, on s'est décidé à remplacer simplement chaque manivelle ordinaire par un plateau en tôle, entouré d'une jante en fer d'un poids convenablement calculé et après lequel se fixait la soie.

M. Alquié indique ensuite que pour parer aux ruptures d'engrénages, on a monté, sur l'arbre du tambour, un frein d'un modèle spécial, fort ingénieux, inventé par M. Maîtrejean, régisseur du Cirque.

La bague de ce frein est toujours serrée sur la poulie par l'action d'un levier à contre-poids, mais cette poulie ne peut tourner, et par conséquent le frein ne peut agir que lorsque la charge commence à descendre. A cet effet, sur l'arbre du treuil se trouve montée et calée une roue à rochet, contre laquelle se trouve appliquée la poulie du frein. Cette poulie est formée d'une jante et d'un disque vertical plein; elle est folle

sur l'arbre du treuil. Les cliquets destinés à agir sur la roue à rochet sont fixés sous la jante à la paroi verticale de la poulie.

Pendant la montée de la charge, les cliquets glissent sur la surface des dents de la roue à rochet et la poulie du frein reste immobile.

Aussitôt qu'on veut descendre, le fond des dents vient s'appuyer sur les cliquets qui tendent alors à entraîner la poulie du frein; mais comme celui-ci est toujours serré, la poulie ne peut pas tourner, et la charge reste suspendue. Il faut donc desserrer le frein pour que la charge puisse descendre.

De même dans un cas d'accident d'engrenage, ou d'abandon des manivelles, la charge reste suspendue.

M. Alquié montre ces divers mouvements sur un petit modèle qu'il met sous les yeux de la Société.

MM. Coutanceau et Debarle ont été reçus membres sociétaires.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1865.

Présidence de M. Salvetat.

La parole est donnée à M. Loustau, trésorier, pour l'exposé de la situation financière de la Société.

M. Loustau indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 16 décembre 1864, de..... 750
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de..... 55
805

A déduire par suite de décès..... 11
— de radiations et démissions..... 4
15

Nombre total des Sociétaires au 15 décembre 1865..... 790

Les versements effectués pendant l'année 1865 se sont élevés à :

1° Pour le service courant, cotisations, amendes, etc... 19,841 65
2° Pour l'augmentation du fonds social inaliénable.... 3,250 »
23,091 65

Il reste à recouvrer en cotisations, amendes et droits d'admission... 8,828 »

Total de ce qui était dû à la Société..... 31,919 65

Au 16 décembre 1864, le solde en caisse était de..... 3,835 »
Les versements effectués pendant l'année 1865 se sont élevés à..... 23,091 65
26,926 65

		Report....	26,926,65
Les dépenses de l'année courante se sont élevées à :			
1° Pour achat de 18 obligations nominatives.....	5,286 50		
2° Dépenses pour l'extension du local...	1,586 80		
3° Pour dépenses diverses, impressions,		19,369 35	24,655 85
appointements, affranchissements, etc., etc.	17,782 55		
Il reste en caisse à ce jour.....			2,270 80
dont.....	1,839 20	pour le service courant,	
et.....	431 60	pour le fonds social.	
Somme égale.....	2,270 80	.....	2,270 80
La Société a en outre en portefeuille sur son fonds social inaliénable 287 *obligations de chemins de fer ayant coûté*.....			85,707 40
Plus 20 *obligations au porteur sur le fonds courant ayant coûté*..			5,996 »

M. LE PRÉSIDENT met aux voix l'approbation des comptes du trésorier. Ces comptes sont approuvés.

M. LE PRÉSIDENT propose de voter des remercîments à M. Loustau, trésorier, pour son dévouement aux intérêts de la Société.

M. LE PRÉSIDENT annonce la mort de M. Baret, membre de la Société.

Il est ensuite procédé aux élections des membres du Bureau et du Comité pour l'année 1866.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président : M. Nozo.

Vice-Présidents :	*Secrétaires* :
MM. Callon (Charles).	MM. Donnay.
Flachat (Eugène).	Tronquoy (Camille).
Love.	Dallot.
Laurent (Charles).	Servier.

Trésorier : Loustau (G.).

COMITÉ.

MM. Salvetat.	MM. Mayer (Ernest).
Petiet (Jules).	Vuillemin.
Alcan (Michel).	Dubied.
Yvon Villarceau.	Bréguet.
Chobrzynski.	Fourneyron.
Alquié.	Goschler.
Forquenot.	Farcot (Joseph).
Molinos (Léon).	Trélat (Émile.)
Limet.	Benoit Duportail.
Péligot (Henri).	Thomas Léonce).

RAPPORT[1]

DU CAPITAINE TYLER (DU CORPS ROYAL DU GÉNIE) AU BOARD OF TRADE,

SUR LE CHEMIN DE FER PROPOSÉ PAR MM. BRASSEY ET Cie

POUR LA TRAVERSÉE DU MONT CENIS.

Imprimé par ordre de la Chambre des Communes, 23 *Juin* 1865.

Whitehall, n° 1, 12 juin 1865.

J'ai l'honneur d'informer les lords du Board of Trade que, conformément aux instructions renfermées dans leur dépêche du 4 février dernier, je me suis rendu au mont Cenis, et j'ai assisté aux expériences relatées dans la lettre du 18 juin dernier de M. Fell à sir Charles Wood, et qui ont eu lieu sur le chemin de fer expérimental établi sur le côté français de la montagne. Je viens maintenant rendre compte du résultat des expériences faites jusqu'à ce jour et de l'opinion que j'en ai conçue.

Il y a actuellement entre Saint-Michel et Suze une interruption de 47,6 milles anglais (77 kilomètres) dans les communications par chemin de fer de la France à l'Italie. Le temps accordé aux diligences, en vertu de leurs traités pour faire ce trajet, est de 9 heures en été, et de 10 heures 1/2 en hiver. Le passage de la montagne, qui commence du

1. Le rapport qu'on va lire est dû à l'habile ingénieur qui remplit en Angleterre l'un des trois postes d'inspecteur des chemins de fer du Royaume-Uni. Il avait reçu la mission d'étudier, au point de vue des intérêts anglais, le chemin de fer de Saint-Michel à Suze. Une mission analogue a été confiée à des commissions spéciales par les gouvernements français, italien, autrichien et russe. Le rapport du commissaire anglais, remarquable d'ailleurs par la justesse et l'étendue des aperçus, ayant été publié le premier, nous en présentons une traduction complète. Nous le ferons suivre de résultats d'expériences dont le commissaire anglais n'a pas eu connaissance, et qui complètent son travail; nous y joindrons ensuite des considérations et des calculs dans lesquels nous avons essayé de présenter sous son vrai jour la question très-controversée jusqu'ici, de la traction par machine à rail central.

côté de la France à la hauteur de Lanslebourg, se fait par une excellente route de 9 à 10 mètres de largeur (c'est-à-dire 30 ou 42 pieds anglais), présentant une pente moyenne de 1/13 (0,077); mais le service est fort contrarié pendant l'hiver par la neige. Dans certains cas il y a de grands dangers à courir par la chute des avalanches et la difficulté de diriger les lourdes diligences sur la neige et la glace à la descente; le service est alors fait par des traîneaux, et, dans ce cas, la durée du trajet est incertaine, car elle dépend complétement de l'état du temps.

Le grand souterrain des Alpes, comme leurs Seigneuries le savent, est en voie de construction entre Modane et Bardonnèche et doit avoir pour résultat de rendre plus rapide et plus sûre la traversée de la montagne.

Le souterrain doit avoir une longueur totale de 12,220 mètres (soit 7 milles 593). Je profitai de l'occasion pour le visiter, et je trouvai que les fronts d'attaque étaient à l'avancement de 2,011 mètres du côté de Modane et à 2,700 mètres du côté de Bardonnèche, laissant encore 7,509 mètres à percer (environ 4 2/3 milles anglais).

Les machines perforatrices du souterrain, ingénieuse création de MM. Sommellier, Grandis et Grattoni, sont mues par l'air comprimé à la pression de 5 atmosphères, au moyen de roues hydrauliques situées dans la vallée inférieure et éloignées d'environ 1 mille 1/2 (2,400 mètres) des machines. L'avancement s'obtient à la manière ordinaire, par des explosions successives de poudre, dès que les trous, qui ont 3 pieds environ de profondeur, ont été percés dans le roc et bourrés.

Pour donner une idée de ce qu'est ce travail, je dirai qu'au moment de ma visite, une force de 400 chevaux, développée par les 5 roues hydrauliques de Modane, était employée à transmettre seulement 20 chevaux de force aux neuf perforatrices et à produire en même temps une ventilation très-imparfaite dans le souterrain, excepté toutefois dans l'endroit où les machines perforatrices travaillent. J'ajouterai que l'on a dépensé plus de 200,000 francs à l'établissement de réservoirs à air, destinés à contenir la provision nécessaire au travail d'une demi-journée dans le souterrain. Ces réservoirs se remplissent dans les intervalles de temps pendant lesquels les machines à perforer la roche ne travaillent pas.

En se basant sur la vitesse à laquelle on a marché jusqu'ici et sur la nature probable de la roche, on ne peut pas supposer, même en ne tenant pas compte des difficultés extraordinaires de la ventilation et de celles causées par l'eau, difficultés qui peuvent se rencontrer, que le souterrain puisse être terminé avant 7 ou 8 ans. Il y a aussi d'autres travaux, comprenant plusieurs souterrains, à exécuter pour les abords du souterrain principal. L'exécution de ces travaux demandera elle-même encore bien des années. Dans ces circonstances, M. J.-B. Fell a proposé

aux gouvernements français et italien, au nom de MM. Brassey et C^ie^, de construire un chemin de fer sur le Mont-Cenis, entre Saint-Michel et Suze, destiné à servir en attendant l'achèvement du grand souterrain et de ses abords.

M. Fell n'a demandé de subvention à aucun des deux gouvernements, car la compagnie dont il fait partie compte tirer de ce travail, indépendamment de l'amortissement et de l'intérêt du capital dépensé, des bénéfices importants pendant le temps qui s'écoulera jusqu'à l'achèvement du souterrain. Les tarifs suivants ont été accordés provisoirement par les gouvernements intéressés pour toute la période de la concession :

Par voyageur,	coupé.	27 fr.
—	première classe.	25
—	deuxième classe	22
—	troisième classe.	18

Par tonne de marchandise :

Grande vitesse..	77 fr.
Petite vitesse.	40
Marchandises hors classe.	de 20 à 30

Mais les pentes étaient telles qu'elles ne pouvaient être franchies par aucune locomotive du système ordinaire, c'est-à-dire ne prenant que par son poids d'adhérence nécessaire entre les roues et les rails. On pensa que le meilleur moyen d'obtenir l'adhérence supplémentaire serait de ressusciter un système breveté depuis longtemps, mais jamais appliqué, qui consiste à poser entre les deux rails ordinaires un troisième rail sur lequel agissent des roues horizontales disposées sous la machine. En conséquence une machine fut construite d'après un des nombreux dessins brevetés et décrits par M. Fell ; elle avait deux paires de roues horizontales, ainsi que deux paires de roues verticales. Une ligne d'essai de 880 yards (720 mètres) fut posée dans le Derbyshire; sur le *Cromford and High-Peak Railway* avec la permission et le concours de la Compagnie du *London and North Western Railway*. La voie avait 3 pieds 7 pouces 5/8 1^m^,10) ; il y avait 180 yards (167 mètres) de ligne droite, combinés avec une pente de 1/135 (0,074) et 150 yards (130 mètres) de courbes ayant un rayon de deux *chains* 1/2 à trois *chains* 1/2 (50 à 70 mètres) sur une pente de 1/12 (0,083). Le troisième rail de cette voie était posé à plat à 7 pouces 1/2 (0,187) au-dessus du niveau des deux rails ordinaires, afin de pouvoir être serré par les deux roues horizontales de la machine. Pendant le cours des essais, qui eurent lieu du mois de septembre 1863 au mois de février 1864, la première machine construite, travaillant avec une pression de 120 livres par pouce carré (8 atmosphères), put toujours remorquer une charge de 24 tonnes sur les pentes et dans les courbes

dont nous venons de donner le détail. Le maximum de charge qu'elle ait pu traîner a été de 30 tonnes.

Les cylindres extérieurs qui agissaient sur les 4 roues verticales, dont la charge s'élevait à 16 tonnes quand la machine avait tous les approvisionnements au complet, ne pouvaient remorquer avec la machine qu'un wagon de 7 tonnes (brut); l'aide des cylindres intérieurs, agissant sur les roues horizontales, dont la pression sur le rail central s'élevait à 12 tonnes, permettait à la machine de remorquer 24 tonnes le même jour et dans les mêmes conditions. Les cylindres intérieurs travaillant seuls réussissaient à faire passer la machine seule dans les courbes, ce qui équivalait à la traction d'une charge d'environ 17 tonnes; les cylindres extérieurs pouvaient, comme nous l'avons dit, en remorquer 23. Ces deux nombres sont sensiblement proportionnels aux pressions respectives appliquées aux roues verticales d'une part et horizontales de l'autre.

Comme j'aurai occasion de décrire cette machine en détail ci-après, avec les perfectionnements qui y ont été apportés depuis, j'ajouterai seulement ici que les expériences du *High Peak Railway* ont été tellement satisfaisantes, qu'il fut décidé, avec la permission du gouvernement français et pour son édification, qu'on les répéterait sur une échelle plus étendue, sur la route du Mont-Cenis. Déjà, en effet, le gouvernement italien avait accordé la concession de la route, pour la partie méridionale de la montagne, à la condition que la concession serait obtenue du gouvernement français pour la partie française. Le gouvernement français, à son tour, promit cette concession, après quelques pourparlers et quelques délais, à la condition que le système serait démontré praticable.

La ligne d'essai qui a été construite sur le Mont-Cenis est située entre Lanslebourg et le sommet. Elle commence à la hauteur de 1,622 mètres au-dessus du niveau de la mer et se termine à une élévation de 1,773 mètres. Elle a près de 2 kilomètres ou 1 mille et 1/4 de longueur, la pente moyenne sur toute cette longueur est de 1/13 (0,077), la pente maximum étant de 1/12 (0,083). Elle passe autour d'un angle aigu formé par la route et réunissant deux zigzags de la rampe, avec une courbe d'un rayon de 40 mètres environ. Excepté en cet endroit, elle est placée sur le côté extérieur de la route occupant une largeur de 3 mètres 1/2 à 4 mètres, et réservant 5 mètres au moins de libres pour la circulation sur la route.

La portion qui reste de la route paraît être parfaitement suffisante pour le trafic actuel. Les diligences et les autres véhicules ne traversent pas la montagne avec plus de difficulté qu'auparavant, et ils ont de plus la sécurité donnée par la clôture du chemin de fer, qui s'interpose entre la route et le précipice. On n'a pas rencontré de difficulté sérieuse à faire circuler une locomotive si près de la route, et comme ce sont toujours

les mêmes chevaux et mulets qui font le service de la montagne, ils seront tous les jours plus habitués au passage des trains. Pendant trois mois de circulation, aucun accident ne paraît être arrivé. Le mouvement sur la route sera nécessairement beaucoup plus faible après l'ouverture du chemin de fer, Il n'y a donc aucun doute que la portion restante ne suffise alors amplement à tous les besoins.

Cette ligne d'essai a été à dessein construite sur le point le plus difficile de la partie de la route où l'on se propose de laisser la voie non couverte et elle a été éprouvée complétement relativement aux difficultés provenant de la neige, par les très-mauvais temps qui ont régné dans la première partie de la présente année. On pouvait à peine s'attendre à un aussi bon résultat. L'adhérence s'est trouvée, en hiver, meilleure que celle sur laquelle on peut compter en été. Quand la neige a été enlevée des rails dans les mauvais temps, elle les laisse secs et dans de bonnes conditions, tandis que la poussière de la route, surtout quand elle est mélangée d'eau, les rend relativement gras et glissants.

Cette voie est posée à l'écartement de 1 mètre 10 cent. (3 pieds, 7 pouces 5/8), en rails prêtés par la compagnie du chemin de fer Victor-Emmanuel; ces rails sont à deux champignons inégaux et pèsent environ 36 kilos par mètre courant. Les rails extérieurs sont éclissés aux joints et supportés par des coussinets en fonte, chevillés à la manière ordinaire sur des traverses en bois espacées d'environ 1 mètre. A part les fortes pentes et les courbes roides, la seule particularité que présente cette voie consiste dans l'addition d'un rail central (du même profil que les rails extérieurs) et qui est posé à plat dans l'intervalle des deux autres et à une hauteur de 7 pouces 1/2 (0,187) au-dessus de leur niveau. Ce rail est porté par des coussinets (les uns en fer, les autres en fonte); ceux de joint pèsent 10 kilos, les intermédiaires 8 kilos.

Ces coussinets ont été posés à l'écartement de 6 pieds (1 m. 80) dans les parties droites, et de 2 à 3 pieds (0 m. 60 à 0 m. 90) dans les courbes; les joints du rail central ne sont pas encore pourvus d'éclisses; mais on se propose d'éclisser ces joints et, sur la voie définitive, d'espacer les coussinets de 3 pieds (0 m. 90) dans les parties droites et de 1 pied 6 pouces (0 m. 45) dans les courbes; de plus, ils seront fixés à la longrine sur laquelle ils reposent au moyen de boulons verticaux. La longrine a 8 pouces (0 m. 20) sur 12 pouces (0 m. 30) et elle est fixée par des broches aux traverses. Ce mode de fixation sera amélioré sur la voie définitive.

Comme rail central, le profil du Victor-Emmanuel était très-peu convenable. Le champignon inférieur présente, en effet, des angles vifs sur lesquels a lieu le contact des roues horizontales de la machine; ces rails d'ailleurs sont d'un fer très-dur sur lequel l'adhérence subit une diminution notable; mais il y avait intérêt à se les procurer dans le pays et on

doit admettre que les rails qui figureront sur la voie définitive seront bien préférables.

La pente moyenne de la ligne entière, de Saint-Michel à Suze (en supposant le point de faîte au milieu) est de 1/25,6 (0,039). La pente la plus forte est de 1/12 (0,083), et l'on se propose de placer un troisième rail partout où la pente dépassera 1/25 (0,040).

La longueur de la ligne expérimentale est de 1,960 mètres; les parties en courbe forment un total de 850 mètres; sur ce nombre, 450 mètres présentent des rayons de courbure qui varient entre 40 et 84 mètres; sur les 400 autres mètres, le rayon minimum est de 100 mètres. Sur la ligne entière, entre Saint-Michel et Suze, la longueur en courbe sera, proportion gardée, beaucoup moindre. M. Fell se propose de réduire les rampes dans les courbes les plus roides en reportant les différences de niveau sur les parties droites contiguës, sans dépasser pourtant la pente de 1/12 (0,083). Par cet artifice on diminuera sensiblement la résistance à la traction dans les courbes les plus roides, et cette résistance dans les différentes parties de la ligne sera plus uniforme, les courbes les plus roides ne coïncidant jamais avec les pentes les plus fortes.

Il y aura 10 passages à niveau, dont 6 en pente plus forte que 1/25 (0,040). Sur quelques-uns de ces passages on supprimera complétement le rail central; sur les autres, on établira des plans inclinés qui permettront aux véhicules et aux animaux de traverser le chemin de fer.

La longueur totale des parties couvertes doit être de 12 à 15 kilomètres (mais les devis ont été établis en prévision du chiffre le plus élevé). Dans les points où la neige n'atteint pas une trop forte épaisseur, c'est-à-dire sur environ 5 kilomètres, la couverture sera entièrement en bois; sur ceux où la neige s'accumule en masses épaisses, c'est-à-dire sur 7 kilomètres, on emploiera des couvertures mixtes en bois et fer; enfin les trois derniers kilomètres, qui correspondent aux points où ont lieu les chutes d'avalanches, seront couverts par de fortes voûtes en maçonnerie.

Il n'existe pas de relevés exacts des quantités de neiges qui tombent sur le Mont-Cenis; mais on sait que la dépense de déblaiement de la route est actuellement de 12,000 francs par an, tandis qu'elle s'élève à 31,900 francs sur le Saint-Gothard. La dépense de déblaiement du chemin de fer et les difficultés que la neige y opposera à la circulation seront peu de chose, si on les compare à ce qui a lieu actuellement sur la route, et cela pour plusieurs raisons. En premier lieu, dans les parties de la montagne où la neige donne les plus grandes difficultés, le chemin de fer sera couvert; 2° dans les parties non couvertes le chemin de fer sera du côté du précipice. Enfin les locomotives seront employées avantageusement pour pousser les charrues à neige, quand de la neige tombée récemment rendra leur emploi indispensable. La dépense d'enlève-

ment de la neige sur la ligne du Semmering ne dépasse pas par an 200 fr. par kilomètre.

J'arrive maintenant à la description des deux locomotives qui sont en service d'essai au Mont-Cenis. L'étude en a été faite en vue de trois objets principaux : 1° obtenir la plus grande puissance jointe au plus faible poids, de manière à se réserver la plus grande marge possible pour la charge à remorquer sur les fortes pentes; 2° obtenir une adhérence supplémentaire, indépendamment du poids, au moyen de roues horizontales pressées contre le rail central par des ressorts agissant sur leurs boîtes à graisse; 3° circuler à faible vitesse dans les courbes les plus roides.

Le poids de la machine n° 1 vide est de 14,854. Son poids avec sa charge complète d'eau et de coke est de 16,784 kilog. La chaudière a 7 pieds 9 pouces 1/2 (2 m. 365) de longueur, et 2 pieds 9 pouces (0 m. 833) de diamètre : elle contient 100 tubes ayant un diamètre extérieur de 1 pouce 1/2 (0 m. 037). Sa surface de chauffe est de 420 pieds carrés (39 m. 246); la surface de la grille est de 6 pieds 6 pouces carrés (0 m. 604). Elle porte quatre cylindres, deux extérieurs de 11 pouces 3/4 (0 m. 298) de diamètre avec une course de 18 pouces (0 m. 457) agissant sur quatre roues verticales couplées de 2 pieds 3 pouces de diamètre (0 m. 685); les essieux sont à l'écartement de 5 pieds 3 pouces (1 m. 601); deux cylindres intérieurs, de 11 pouces (0 m. 279) de diamètre avec course de 12 pouces (9 m. 305), agissent sur quatre roues horizontales couplées de 1 pied 4 pouces (0 m. 406) de diamètre; l'écartement de ces roues, d'axe en axe, est de 1 pied 7 pouces (0 m. 485). La pression donnée aux roues horizontales est actuellement de 16 tonnes, soit quatre de plus que la pression antérieurement appliquée. Cette pression est ainsi à peu près équivalente à la charge de la machine sur les roues verticales. Cette machine a été également pourvue de galets directeurs agissant sur le rail central.

Cette locomotive présente des conditions de service très-défavorables; son mécanisme trop ramassé rend difficile l'entretien et les réparations; sa surface de chauffe n'est pas suffisante pour le service rapide sur le Mont-Cenis; enfin, l'huile du mécanisme tombe sur les roues horizontales et diminue, jusqu'à un certain point, leur adhérence. Mais néanmoins elle a servi à démontrer l'exactitude du principe qu'elle avait pour but de vérifier ou d'établir et, eu égard à la nouveauté de l'entreprise, le succès obtenu par elle est réellement surprenant.

Dans l'espace de deux jours, j'ai descendu et remonté six fois avec cette machine la longueur de la ligne expérimentale. Le train remorqué se composait de trois wagons, présentant un poids brut total de 16 tonnes. La moyenne de ces expériences a été la suivante : les 1,800 mètres ont été remontés en 8 minutes 1/8; la pression s'est abaissée de 14 livres (0 atmosphères 93); le niveau de l'eau, dans le tube à niveau, a baissé de

5 pouces 1/3 (0 m. 133); enfin la pression moyenne de la vapeur variait de 92 à 125 livres par pouce carré (6 atmosphères 20 à 8 atmosphères 30).

La vitesse dans chacun de ces essais a été supérieure à celle que l'on se propose d'atteindre, avec la même charge, pour les trains express; la vitesse moyenne résultant des chiffres donnés plus haut a été de 13 kilomètres 300 mètres à l'heure, au lieu de 12 kilomètres, vitesse maximum prévue dans le programme qui a été soumis au gouvernement français pour cette partie du chemin. Le temps était beau et calme et les rails extérieurs en très-bon état; mais le rail central, ainsi que les roues horizontales, étaient gras et, par suite, dans des conditions d'adhérence très-défavorables.

Le calcul suivant établit le travail moyen développé par la machine n° 1 dans le cours de ses essais : laissant de côté, pour le moment, la résistance due aux courbes et négligeant complétement celle de l'air, nous avons :

Résistance due à la gravité.	32[1] × 77 =	2,464
— du mécanisme extérieur	16 × 10 =	160[1]
— — intérieur	16 × 10 =	160
— du train	16 × 5 =	80
Total de l'effort de traction. . . .		2,864

Or,

$$\frac{1{,}800 \text{ m.}}{8' 1/8} = \frac{1{,}800}{488''} = \text{environ 3 m. 69 par seconde}$$

et

$$\frac{2{,}864 \text{ kil.} \times 3 \text{ m. } 69}{75 \text{ kilogrammètres}} = 139 \text{ chevaux.}$$

Ce même effort de traction, à la vitesse de 12 kil. à l'heure, représente un travail de 125 chevaux.

Ajoutant de part et d'autre 10 pour cent pour la résistance des courbes roides, on obtient, d'une part, 153 chevaux pour 1,800 mètres en 8' 1/8, et de l'autre, 137 chevaux 5 pour 1,800 mètres en 9', soit 15 chevaux 5 d'excès de travail, en sus de la quantité nécessaire.

Il n'y a guère lieu de chercher à calculer la dépense de combustible effectuée pendant les expériences, car il a été impossible de distinguer la portion consommée en stationnement et celle qui a été appliquée à la production de la quantité de travail fournie. Cependant la machine ayant

1. Le capitaine Tyler adopte pour coefficient de résistance du mécanisme intérieur 10 kil. par tonne. Cette évaluation nous paraît insuffisante pour la machine n° 1, par les motifs développés pages 8 et 9, mais elle est très-largement suffisante pour la machine n° 2.

été en feu environ 3 heures le premier jour, et 3 heures 1/2 le second, il a été dépensé en charbon et coke, autant que j'ai pu le constater, 583 livres (262 kil.) et 653 (293 kil.) le second. Sur cette durée, 97 à 98 minutes ont été employées dans le parcours total d'environ 20 kilomètres, effectué pendant ces deux journées.

Je puis ajouter ici que cette machine a déjà parcouru plus de 160 kilomètres en train de ballast et de matériaux sur la ligne expérimentale, remorquant à chaque fois des trains de 16 à 20 tonnes sans accident ni difficulté.

La machine n° 2, étudiée spécialement pour l'exploitation du Mont-Cenis, est en partie construite en acier. Son poids vide est de 16 tonnes : avec son approvisionnement complet de combustible et d'eau, elle pèse 16 tonnes 17 quintaux, soit un poids moyen de 16 tonnes (16,256 kil.) en ordre de marche; plusieurs pièces de la machine devant être augmentées de dimensions, le poids maximum sera porté à 17 tonnes 2 quintaux (17,374 kil.) et le poids moyen à 16 tonnes 4 quintaux (16,460 kil.). Le mécanisme complet des roues horizontales et accessoires ne pèsera cependant pas plus de 2 tonnes 13 quintaux (2,690 kilos).

La chaudière a 8 pieds 4 pouces 1/2 (2 m. 512) de longueur, 3 pieds 2 pouces de diamètre (0 m. 962) et contient 158 tubes de 1 pouce 1/2 (0 m. 0375) de diamètre extérieur. Le foyer et les tubes donnent ensemble 600 pieds carrés (55 m. carrés 986) de surface de chauffe; la surface de grille est de 10 pieds (0 m. 930). Les cylindres sont au nombre de 2; leur diamètre est de 15 pouces (0 m. 380) et la course des pistons de 16 pouces (0 m. 406) : ils agissent à la fois sur les deux groupes de roues, 4 horizontales et 4 verticales; chaque groupe se compose de 4 roues couplées de 27 pouces (0 m. 685) de diamètre. L'écartement des centres des roues verticales est de 6 pieds 10 pouces (2 m. 092), celui des roues horizontales de 2 pieds 4 pouces (0 m. 620). La pression maximum de la vapeur dans la chaudière est de 120 livres (8 atmosphères), la pression effective sur le piston est de 75 livres par pouce carré (5 atmosphères).

Outre l'avantage de posséder une plus grande surface de chauffe, cette machine est plus stable que le n° 1 : son mécanisme est plus facile à entretenir et la pression sur les roues horizontales peut être réglée à volonté par le mécanicien du haut de la plate-forme. La pression est appliquée au moyen d'une tige en fer portant deux pas de vis à filets opposés, et qui agit sur deux châssis placés de part et d'autre du rail central; ces châssis sont eux-mêmes en relation avec des ressorts en spirale qui pressent les roues horizontales contre le rail. Pendant les premiers essais, la pression était de 2 tonnes 1/2 par roue horizontale, soit 10 tonnes en tout : aujourd'hui la pression maximum, et qui peut être appliquée, s'il est nécessaire, est de 6 tonnes par roue, soit 24 tonnes pour les quatre. Chaque piston porte une double tige,

une à l'avant, une autre à l'arrière du cylindre; la première transmet son mouvement par un renvoi aux roues verticales; les roues horizontales sont menées directement par la seconde tige. Tout le système des roues horizontales paraît fonctionner parfaitement; malheureusement quelques-unes des pièces en relation avec les roues verticales avaient besoin d'être renforcées, et, pour éviter des réparations qui auraient entraîné de nouveaux délais, on ne pouvait guère faire marcher cette machine longtemps ou avec une forte charge, au moment où j'étais au Mont-Cenis; il aurait fallu attendre les pièces de rechange qui étaient alors en construction en Angleterre. J'ai pu cependant remonter avec cette machine les 1,800 mètres de la ligne expérimentale en remorquant la même charge que précédemment, soit 16 tonnes en 3 wagons, en 6 minutes 1/4, ce qui répond à une vitesse de 17 kilomètres à l'heure. (Le programme pour les trains express n'admet qu'une vitesse de 12 kilomètres à l'heure). La pression de la vapeur descendit de 112 à 102 livres 1/2 (6^{at},8 à 6,5), et le niveau de l'eau dans le tube descendit de 3 pouces, la chaudière n'ayant été alimentée que pendant la dernière partie de cette expérience. La machine n° 2 (dont la résistance est de 120 livres moindre que celle de la machine n° 1, quand on applique seulement 10 tonnes de pression sur les roues horizontales) a développé dans cette expérience, non compris la résistance des courbes, un travail d'environ 177 chevaux; ajoutant 10 p. 100 pour la résistance des courbes, on arrive à 195 chevaux, soit plus de 12 chevaux de force par tonne du poids de la machine, et en tout près de 60 chevaux de plus que n'aurait consommé la traction de la même charge sur le même profil, à la vitesse de 12 kilomètres inscrite au programme.

En comptant 4 pieds carrés (0 m. carré) 369 de surface de chauffe par force de cheval, cette machine pourrait développer d'une manière continue un travail de 150 chevaux, soit 45 de moins que le travail obtenu dans l'expérience ci-dessus sur un faible parcours, mais beaucoup plus qu'elle n'en devra produire pour rester dans les conditions du programme. Effectivement, un train léger portant les dépêches et 50 voyageurs, et traîné par une seule machine, effectuerait facilement le voyage de Saint-Michel à Suze en 4 heures, au lieu de 4 heures 1/2.

Le jour suivant, j'ai reconnu qu'avec 40 livres de pression, soit 1/3 de la pression maximum, la machine pouvait se mouvoir *seule* sur une pente de 1/12,5 (0,080). La résistance des wagons et voitures étant proportionnellement beaucoup plus faible que celle d'une locomotive, cette machine pourrait *à fortiori* traîner une charge brute égale à trois fois son poids, soit 48 tonnes, sur la même pente, la pression étant supposée portée à son maximum de 8 atmosphères.

La seule voiture à voyageurs qui ait encore été construite a 6 pieds

4 pouces (1 m. 924) de largeur et 12 pieds (3 m. 650) de longueur. Elle a un passage au milieu, entre les deux banquettes, qui contiennent chacune 6 places. Les voyageurs s'y trouvent donc assis en face les uns des autres. Les roues ont 2' 3" (0 m. 683) de diamètre, et on se propose de laisser une roue par paire folle sur l'essieu. Chaque véhicule sera muni d'un frein ordinaire, et plusieurs par train porteront des freins de sûreté agissant sur le rail central.

Il résulte des comptes rendus officiels de la Compagnie du chemin de fer Victor-Emmanuel que la route de Saint-Michel à Suze a donné les recettes suivantes pendant les quatre dernières années :

1861.	1,404,771	francs.
1862.	1,609,617	—
1863.	1,715,424	—
1864.	1,895,543	—

L'accroissement des recettes est donc de plus de 10 p. 100 chaque année. En estimant que le trafic s'accroîtra seulement dans la même proportion après l'ouverture du chemin de fer, le revenu brut total en 7 ans, de 1867 à 1873 inclusivement, serait de plus de 27,000,000 de francs, et l'on calcule qu'une recette pareille donnera, à l'expiration de ce terme, un bénéfice net de plusieurs millions, déduction faite de toutes les dépenses et de l'intérêt et amortissement du capital de 8,000,000 de francs. Il est bien entendu aussi qu'à l'expiration du terme de 7 ans, la valeur du chemin de fer et le matériel roulant resteraient la propriété de la Compagnie.

Mais il ne peut pas être mis en doute qu'après l'ouverture du chemin de fer le transport des voyageurs ne doive augmenter dans une proportion plus forte qu'il ne l'a fait jusqu'ici, à cause de l'économie de temps et de la commodité et sécurité plus grandes qu'on trouvera à passer la montagne. Or il n'y aura pas seulement une augmentation dans les produits du trafic, mais il y aura aussi la perspective que les marchandises de peu de valeur et les matières minérales, qui ne passaient pas la montagne, le feront à l'avenir, puisque le transport se fera à moins de frais que par le passé. De plus, la Compagnie a l'espoir fondé de transporter la malle des Indes; car, comme je vais le montrer tout à l'heure, elle pourra abréger de 38 heures les communications entre l'Angleterre et l'Égypte.

Pour pourvoir au transport de 132 voyageurs et de 88 tonnes de marchandises par jour, la Compagnie a l'intention de faire marcher 3 trains dans chaque sens. Chaque train, portant 40 voyageurs et leurs bagages, pèsera, indépendamment de la machine, 16 tonnes et fera, à la vitesse moyenne de 18 kilomètres à l'heure, les 77 kilomètres entre Saint-Michel et Suze; un second train transportant 26 voyageurs et 20 tonnes de mar-

chandises et pesant 40 tonnes, marchera à une vitesse moyenne de 12 à 14 kilomètres par heure ; enfin un troisième train portant 24 tonnes de marchandises et pesant 48 tonnes, marchera à une vitesse moyenne de 10 kilomètres par heure. On se propose de faire faire le premier de ces trains par une seule machine, et le second et le troisième, chacun par deux machines.

Les distances de Paris à Turin et Gênes, suivant qu'on fait le trajet par Marseille ou par le Mont-Cenis, peuvent s'établir de la manière suivante. En partant de Paris, les deux lignes se séparent à Mâcon, et les distances sont :

	Par Marseille.	Par le Mont-Cenis.
Mâcon à Gênes.	899 kilomètres.	524 kilomètres.
Mâcon à Turin.	1,060 —	360 —

Il y a donc par le Mont-Cenis une abréviation de 375 kilomètres pour Gênes et de 700 kilomètres pour Turin.

Le temps employé pour le trajet entre l'Angleterre et l'Égypte en passant par Paris peut être établi soit en prenant la route de Marseille, soit en passant par le Mont-Cenis et Brindisi, car les chemins de fer italiens ont été récemment livrés à la circulation jusqu'à ce port.

Par la route de Marseille :

Paris à Marseille, 864 kilomètres, à 54 par heure. . . .	16	heures.
Marseille à Alexandrie, 1,460 milles marins, à 10 par heure, avec 6 heures de relâche à Malte.	152	»
TOTAL.	168	heures.

Par la route du Mont-Cenis et Brindisi :

Paris à Mâcon, 441 kilomètres, à 54 par heure.	8 1/4	heures.
Mâcon à Saint-Michel, 237 kilomètres, à 40 par heure.	6	»
Saint-Michel à Suze, 77 kilomètres, à 18 par heure.	4 1/2	»
Suze à Brindisi, 1,159 kilomètres, à 40 par heure. . .	29	»
Brindisi à Alexandrie, 822 milles marins, à 10 par heure.	82 1/4	»
Total.	130	heures.

Il y a donc, en passant par le Mont-Cenis et Brindisi, une économie de temps de 38 heures.

Ce résultat aurait de l'importance pour faciliter les communications entre l'Inde et l'Angleterre, et pour assurer le passage de la malle de

l'Inde; il faut cependant remarquer qu'il y aurait nécessairement rupture de charge à Saint-Michel et à Suze.

Les résultats de ces expériences ont une grande importance pour l'avenir de la construction des chemins de fer dans les pays de montagne; je vais essayer de le faire comprendre par quelques rapides observations.

Toutes les fois qu'il s'agit de faire traverser une chaîne de montagne par une ligne de chemin de fer, le problème qui se pose est celui de savoir s'il est plus économique de franchir les cols à leur niveau ou d'établir un souterrain d'une longueur plus ou moins grande. Après s'être rendu compte avec soin de la dépense de construction et des frais d'exploitation qu'entraînera le trafic sur lequel on peut compter, il faut déterminer jusqu'à quel niveau on doit s'élever et quelle longueur de souterrain il en résultera suivant les différents cas; l'élément le plus important de ce calcul est la limite de rampe au-dessous de laquelle on doit se tenir pour avoir une exploitation à la fois sûre et économique.

M. Fell a démontré par ses expériences que les pentes de 1/12 à 1/15 (0,066 à 0,083) peuvent être, par le moyen du rail central, substituées aux pentes de 1/25 à 1/30 (0,033 à 0,040) auxquelles on s'est arrêté jusqu'ici; il a montré aussi que ce système permet de circuler plus sûrement qu'on ne l'a fait jusqu'ici dans des courbes plus roides encore que celles usitées jusqu'à présent. En d'autres termes, il a prouvé qu'étant donnée une différence de niveau à franchir, on peut réduire *de moitié* [1] la longueur du développement nécessaire, et de plus d'un *tiers* la dépense de construction. En effet, quoique la voie de fer doive être plus coûteuse, puisqu'elle reviendra moyennement à 3,000 livres environ au lieu de 1,800 à 2,000 par mille anglais (c'est-à-dire 50,000 francs au lieu de 30 à 35,000 francs par kilomètre de voie simple), cependant l'adoption de pentes plus fortes et de courbes plus roides, dans les points difficiles, permettra de réduire ou même d'éviter les tranchées ou les remblais, et les travaux en général en deviendront moins coûteux.

De leur côté, les frais d'exploitation et d'entretien, pour une même différence de niveau à racheter, seront également réduits, la longueur de la ligne étant diminuée de moitié et la vitesse des trains pouvant être aussi réduite; car, pour atteindre le sommet dans le même temps, une vitesse moitié suffira, et, à cette vitesse ainsi réduite, il ne faudra pas, pour remorquer les mêmes trains (machines comprises), une plus grande consommation de travail mécanique que dans le premier cas; d'un autre côté, l'adhérence des machines se trouvant doublée, moyennant une

1. La pente moyenne qu'il propose étant le *double* des anciennes limites adoptées pour les pentes.

augmentation de moins d'un sixième de leur poids, la charge utile des trains s'en trouvera considérablement augmentée.

La dépense de traction, qui ne doit pas varier sensiblement, puisqu'il s'agit, dans les deux cas, d'élever les mêmes charges brutes à une même différence de niveau, se trouvera réduite, si on la rapporte au poids utile, par l'augmentation de ce poids; les autres dépenses d'exploitation diminueront aussi, dans une certaine mesure, par la réduction dans l'usure et la fatigue du matériel, qu'entraînera la réduction de vitesse.

Par ces motifs, les tracés franchissant les cols à leur niveau deviendront aujourd'hui plus faciles, plus rapides d'exécution et plus avantageux comme exploitation qu'ils ne l'ont été jusqu'à présent. Il sera intéressant, en prenant pour exemple le Mont-Cenis, de comparer la dépense de la ligne avec souterrain, qui est aujourd'hui en cours d'exécution, avec celle d'une ligne *définitive* que l'on pourrait établir en passant par-dessus la montagne. Je ne fais pas cette comparaison en vue de ce cas particulier, car on peut admettre aujourd'hui que le tracé avec souterrain sera exécuté entièrement dans un certain nombre d'années, et que d'ailleurs la ligne *supérieure* projetée par MM. Brassey et Cie n'est proposée qu'à titre provisoire, et pour servir en attendant l'ouverture de la ligne définitive de Saint-Michel à Suze; je n'aurai en vue, en faisant cette comparaison, que l'application aux autres traversées de montagnes, soit dans les Alpes, soit ailleurs.

L'estimation du chemin provisoire faite par M. Brunlees, ingénieur civil, s'élève à 8,000,000 de francs, soit environ 104,000 francs par kilomètre, tandis que le tracé avec souterrain coûtera probablement, en y comprenant les intérêts à 6 p. 100 pendant la construction, 135,000,000 de francs, soit environ 2,000,000 de francs par kilomètre; cette dernière ligne présente une longueur de 68 kilomètres et un maximum de pente de 1/28 (0,035); sur moitié de la longueur du souterrain, la pente sera 1/45,5 (0,022); la pente moyenne, pour toute la longueur, sera 1/46 ou (0,0247) ; la ligne provisoire, au contraire, n'aura que 77 kilomètres de longueur et des pentes maximum de 1/12 (0,083) ; la différence de niveau entre les deux points les plus élevés des deux tracés est de 840 mètres et la durée du parcours entre Saint-Michel et Suze sera, compris les arrêts, d'environ 3 heures par le souterrain et 4 heures 1/2 par le col.

On peut admettre que la dépense de construction d'une ligne définitive, avec voie plus large et courbes moins roides, serait à peu près égale à trois fois celle de la ligne provisoire, soit environ 312,000 francs par kilomètre ; l'excès des dépenses d'exploitation résultant de la différence de niveau de 840 mètres, évaluée avec une circulation dix fois plus grande que celle qui a lieu actuellement sur le Mont-Cenis, et en admettant une dépense moyenne de traction de 25 centimes par force de cheval et par heure (dépense constatée sur les lignes du Semmering et des Giovi), représente, à l'intérêt de 6 p. 100, un capital de 203,000 fr. par

kilomètre. Ces deux sommes ajoutées ensemble donnent 515,000 francs par kilomètre, soit un peu plus du quart de la dépense estimée plus haut à 2,000,000 fr. par kilomètre pour le tracé avec souterrain.

Cette estimation serait sans doute modifiée sensiblement par les circonstances locales, mais ce n'en est pas moins une évaluation aussi rapprochée que possible de l'avantage qu'on peut trouver, dans les cas où l'on ne peut recourir aux plans inclinés avec câble et machine fixe, à adopter pour les chemins de fer des pentes plus fortes que celles considérées jusqu'à présent comme abordables, en recourant au système de M. Fell.

Comme résultat de mes observations et de mes essais, je conclurai en disant que le projet de traversée du Mont-Cenis est, à mon sens, praticable aussi bien au point de vue mécanique qu'au point de vue commercial, et que le passage de cette montagne sera ainsi rendu plus rapide, plus assuré et plus commode, mais en outre présentera des conditions de sécurité supérieures à celles qui existent actuellement. Au premier abord, peu de personnes, à la vue, ou seulement à la pensée de ces essais sur des pentes aussi fortes et des courbes aussi roides, pourront admettre qu'il n'en résulte pas des dangers extraordinaires, et que les conséquences d'une rupture d'attelage ou de bandage de roue, ou d'un déraillement, ne se trouveront pas, sur une pareille ligne, considérablement aggravées.

Mais il y a, dans ce système de locomotion, un élément de sécurité qu'aucun autre système ne possède.

Le rail central ne sert pas seulement à rendre la machine capable de remorquer son train sur ces pentes exceptionnelles, mais il donne aussi les moyens d'appliquer le système de frein le plus énergique pour modérer la vitesse, ou pour arrêter à la descente tout véhicule qui se serait dételé; enfin, par le moyen des galets directeurs dont sont munis les différents véhicules, il agit comme la sauvegarde la plus puissante pour empêcher machine, voitures ou wagons de dérailler par suite de détériorations survenues soit à la voie, soit au matériel roulant. Avec un entretien convenable, les parties les moins dangereuses de ce chemin de fer seront certainement celles où, la pente dépassant 1/25 (0,040), on devra ajouter le troisième rail.

La pose et l'emploi de ce rail central ne présentent pas de difficultés sérieuses; il est facile également d'en établir la continuité de manière à prévenir tout accident qui serait dû soit à sa faiblesse, soit à celle de ses attaches. La seule question que je me pose est de savoir s'il n'y aurait pas à étendre son application aux pentes inférieures à 1/25 (0,040). Il semble qu'il y aurait avantage à le faire, non-seulement en vue d'accroître l'adhérence, sans augmenter le poids en proportion, mais aussi en vue d'assurer plus complétement la sécurité, particulièrement dans les courbes.

Je dirai, en finissant, qu'après avoir examiné en détail, avec M. Fell,

les calculs et les considérations sur lesquels est basée son entreprise, j'ai reconnu que, pendant un travail de trois années, il a traité ces questions avec le plus grand soin et la plus grande prudence, et je ne doute pas, si, comme il l'espère, il obtient dans quelques semaines du gouvernement français l'autorisation nécessaire, qu'il ne soit en état de mener à bonne fin le travail qu'il a entrepris.

ÉTUDES SUR LA LOCOMOTION

AU MOYEN

DU RAIL CENTRAL

CONTENANT LA RELATION

des Expériences entreprises par MM. Brassey, Fell et Cie pour la traversée du Mont-Cenis

PAR M. **DESBRIÈRE.**

CHAPITRE PREMIER.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES POSTÉRIEURES AU RAPPORT DU CAPITAINE TYLER.

Le rapport du capitaine Tyler renferme deux parties distinctes :

1° La relation et la discussion des expériences de traction à l'aide du rail central, exécutées sur une longueur de 2 kilomètres, sur les rampes du Mont-Cenis;

2° L'appréciation, au point de vue économique, du système expérimenté, en le supposant appliqué au cas particulier d'un chemin de fer franchissant les 77 kilomètres qui séparent Saint-Michel et Suze, et, en général, au tracé des lignes de montagne.

La première partie de ce programme est la seule que j'aie abordée dans le mémoire que j'ai présenté à la Société dans la séance du 18 mars 1864. A cette époque, les essais entrepris par M. Fell avaient eu lieu en Angleterre, sur une faible longueur, avec une machine reconnue imparfaite, mais susceptible d'améliorations très-notables.

C'est cette machine qui, transportée au Mont-Cenis sur une ligne de 2 kilomètres de longueur, a été expérimentée d'une manière très-complète par le capitaine Tyler. Les expériences et les appréciations du savant ingénieur sur cette machine concordent, à très-peu près, avec celles que renfermait mon travail : je ne les examinerai donc pas.

Une seconde machine, à laquelle ont été apportés une partie des perfectionnements que l'inventeur avait en vue, a été mise en service d'essai au Mont-Cenis, et c'est sur elle surtout que devaient porter les expériences du capitaine Tyler. Malheureusement, à l'époque de son voyage au Mont-Cenis, cette machine, dont quelques pièces avaient été recon-

nues trop faibles, n'était pas en état de faire le service auquel elle était destinée : elle n'a pu être expérimentée par le commissaire anglais que dans des conditions d'infériorité, qui, malgré l'étendue de sa surface de chauffe, laissaient planer encore quelques doutes sur son aptitude à remplir le programme pour lequel elle a été construite.

C'est cette lacune que j'ai en vue de remplir aujourd'hui, et, dans ce but, je relaterai en abrégé les résultats des essais faits devant les commissions italienne et française, désignées par les gouvernements intéressés. Les renseignements très-complets et très-exacts donnés par le rapport qui précède me dispensent d'entrer dans aucun détail nouveau sur la construction de la machine : je me contenterai de dire qu'après les modifications qui lui ont été apportées, son poids moyen a été porté à un chiffre un peu supérieur à celui prévu par le capitaine Tyler, 17 tonnes au lieu de 16 et demie.

Je crois devoir signaler en outre un détail dont le capitaine Tyler n'a pas parlé et qui donne l'explication de la facilité du passage en courbe, en même temps que la justification de ses vues au sujet de la sécurité. Chaque véhicule est pourvu de quatre galets horizontaux, de 20 à 25 centimètres de diamètre, fous autour d'axes verticaux fixés sur le châssis du véhicule, et disposés deux à deux aux extrémités du véhicule et de chaque côté du rail central. C'est l'emploi de ces galets qui transforme en frottement de roulement le glissement des boudins des roues contre les rails extérieurs dans les courbes, et permet de franchir des courbes impraticables à tout autre matériel. C'est aussi cet emploi qui rend tout déraillement impossible aussi bien pour le train que pour la machine.

Nous en avons déjà dit quelques mots dans la séance du 18 mars 1864. Mais nous croyons devoir y insister ici, car ce procédé simple et pratique donne la solution la plus parfaite du problème des courbes, au point de vue de la résistance à la traction comme au point de vue de la sécurité. Il a l'avantage de n'exiger qu'une modification insignifiante au matériel existant pour être immédiatement applicable, et de plus le matériel, ainsi approprié au parcours des petites courbes, peut circuler sans difficulté ni modification sur les lignes existantes à voie ordinaire.

Voici maintenant le résultat des essais faits le 19 juillet dernier, en présence de la commission française :

1re série d'essais faits avec un train composé de 4 wagons et 1 voiture à voyageurs, en tout.	25,350 kilog.
Poids de la machine.	17,000 —
Poids total du train.	42,350 kilog.

(La pression sur les roues horizontales a été constamment de 12 *tonnes* en totalité, soit 3 tonnes par roue.)

NUMÉROS des VOYAGES.	TEMPS du PARCOURS.	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE		
		AU DÉPART.	A L'ARRIVÉE.	DIFFÉRENCE.
	Minutes.	Atmosphères.	Atmosphères.	Atmosphères.
1.....	9	6	8	2
2.....	11	6 2/3	7 1/3	2/3
3.....	10	6	8 1/3	2 1/3

Il résulte de ce tableau que ces trois voyages, exécutés sur une rampe de 1,800 mètres de longueur, ont été faits à une vitesse moyenne de 10,800 mètres à l'heure.

L'accroissement moyen de pression de la vapeur, en montant la rampe, a été de 1 atm. 2/3.

Ces faits démontrent surabondamment que la puissance de vaporisation de la chaudière de la machine n° 2 est plus que suffisante pour remplir les conditions du service qu'elle a à faire. On ne compte en effet pas dépasser en service la vitesse de 6 kilomètres sur les rampes de 0m,085 par mètre, comme celle où a eu lieu l'essai du 19 juillet, avec les trains de marchandises dont la charge, non compris la machine, doit être de 24 tonnes.

Dans la seconde série d'essais, la charge remorquée a été réduite à trois wagons, soit 16 tonnes, les autres conditions restant les mêmes :

NUMÉROS des VOYAGES.	TEMPS du PARCOURS.	PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE		
		AU DÉPART.	A L'ARRIVÉE.	DIFFÉRENCE.
	Minutes.	Atmosphères.	Atmosphères.	Atmosphères.
1.....	7 1/2	5 1/3	8 1/3	3
2.....	7 1/2	»	»	1 2/3

Distance totale 3,600 mètres parcourus en 15 minutes, soit une vitesse de 14,400 mètres; accroissement moyen de pression par voyage, 2 atmosphères 1/3.

La vitesse prévue pour le service de ce train était seulement de 12 kilomètres à l'heure sur les rampes de 0,085.

La descente s'est effectuée en 10 à 12 minutes, de manière à démontrer l'efficacité du système de freins pour modérer la vitesse, laquelle n'a jamais dépassé 10 kilomètres à l'heure.

Des essais analogues ont eu lieu en présence de la commission italienne,

le 27 juillet dernier. Les résultats ont été tout aussi favorables; nous citerons seulement comme limites extrêmes de ce que peut obtenir la machine n° 2, sous le double rapport de la puissance de vaporisation et de l'adhérence, les deux essais suivants, obtenus tous deux avec la charge de 24 tonnes.

Dans le premier, on a atteint une vitesse de 12 kilomètres à l'heure et un accroissement de pression de 1 atmosphère 1/3.

Dans le deuxième, la pluie commençait à tomber et l'adhérence était par conséquent très-réduite; la machine a patiné d'une manière très-sensible : l'emploi des boîtes à sable seules a suffi pour lui permettre de marcher sans accroissement de la pression sur le rail central (pression qui est restée fixée à 12 tonnes comme précédemment). La montée de 850 mètres a été effectuée en huit minutes et demie. La vitesse qui en résulte est précisément celle du programme, soit 6 kilomètres à l'heure. La pression de la vapeur s'était élevée, malgré le patinage et les pertes de vapeur qui en sont la conséquence, jusqu'à faire souffler les soupapes au moment où la machine a été arrêtée. Nul doute qu'avec une faible augmentation de pression sur le rail central le patinage n'eût été entièrement supprimé.

Cette expérience est surtout intéressante en ce qu'elle met en évidence la supériorité de la machine sur celles du système ordinaire.

En adoptant les bases de calcul appliquées par le capitaine Tyler [1], on trouve pour l'effort de traction 3,567 kil.

La pression totale adhérente étant de 12 + 17 égale 29 tonnes, et le patinage ayant eu lieu, cela suppose une adhérence de $\frac{3567}{29} = 0,12$.

Avec cette adhérence, une machine ordinaire de 17 tonnes n'aurait pu remorquer que 6 tonnes 1/2 au lieu de 24, comme le montre le calcul suivant :

Résistance de la machine 17 (77 + 10) =	1,479^k
Résistance du train . . . 6^t,5 × (77 + 5) =	533
Total.	2,012
Effort de traction disponible : 17^t × 0,12 =	2,040^k

Les expériences auxquelles a été soumise la machine n° 2 ont été assez étendues pour permettre quelques évaluations sur la consommation du combustible. Nous ne donnons ces résultats qu'avec quelques réserves, car on sait combien il est délicat de déduire la consommation d'une machine de parcours peu étendus.

Avec la charge de 24 tonnes, on a fait un parcours total de 51 kilomètres à la vitesse moyenne de 10,704 mètres par heure.

1. C'est-à-dire 5 kilos par tonne de résistance pour le train et 10 kilos par tonne de pression pour la machine.

Avec la charge de 16 tonnes, les parcours ont été de 29 kilomètres à la vitesse de 15,600 mètres à l'heure.

Ce parcours total de 80 kilomètres a donné lieu à une consommation de 18k,300 par kilomètre (montée et descente)[1].

La machine seule a effectué un parcours de 40 kilomètres : sa consommation a été de 8 kil. par kilomètre.

Pour arriver à déterminer ces moyennes, on a déduit de la quantité totale de combustible consommé 48k,900 par mètre carré de surface de grille et par heure de stationnement[2].

Il faut se rappeler, en envisageant ces résultats, d'abord que la machine n° 2 marche à peu près sans détente, et en second lieu, que les parcours sur lesquels ont été faites les constatations de consommation correspondent aux inclinaisons les plus fortes de toute la ligne; enfin, que la machine, par suite de la faiblesse exagérée du rayon des courbes et du faible écartement qu'on a dû en conséquence donner aux essieux, a une longueur de tubes extrêmement réduite (2m,532 environ), circonstance éminemment favorable à la production de vapeur, mais par contre très-nuisible à l'économie du combustible. Nul doute qu'avec des rayons de courbe de 80 à 100 mètres, rayons parfaitement suffisants pour toutes les traversées de montagne, avec une détente plus complète, on n'arrive à réduire considérablement la consommation.

Au surplus, cette dépense, quoique considérable, rentre parfaitement dans les prévisions que l'on a admises pour les frais de traction des divers trains sur le Mont-Cenis, en se basant sur les résultats acquis pour l'exploitation des rampes des Giovi et du Semmering[3]. Elle est en accord parfait avec le chiffre de 25 centimes par force de cheval admis par le capitaine Tyler pour la ligne du Mont-Cenis, et qui résulte également des comptes de traction des lignes des Giovi et du Semmering.

CHAPITRE II.

APPLICATION DU SYSTÈME DU RAIL CENTRAL AU CAS D'UNE EXPLOITATION PAR TRAINS DE 100 TONNES.

La seconde partie du rapport du capitaine Tyler est relative à l'appréciation au point de vue économique du système Fell, supposé appliqué

1. En rapportant cette consommation observée sur la ligne expérimentale dont la pente moyenne est de 77m/m à la ligne entière qui est établie avec une pente moyenne de 39m/m, on en déduit une consommation moyenne de 9k,45 par kilomètre parcouru.

2. Cette déduction, qui répond à 10 livres par pied quarré anglais de surface de grille, est d'autant plus légitime, que la machine n'était pourvue d'aucun système permettant de la capuchonner pendant les stationnements qui ont été longs et nombreux.

3. Voir la note F, page 494.

au Mont-Cenis d'abord, et ensuite aux traversées de montagne en général. Ce que nous venons de dire sur la consommation du combustible ne laissera pas de doute sur la justesse de ses appréciations relativement au cas particulier du Mont-Cenis, car ses conclusions reposaient sur les chiffres de dépense que nous venons de constater.

M. Tyler a présenté en finissant son mémoire des calculs qui font ressortir les avantages que donnerait une application du système à une ligne *définitive* passant par-dessus le col, comparée à la ligne actuellement en construction entre Saint-Michel et Suze et qui doit traverser la montagne par le grand souterrain de Modane à Bardonnèche. En admettant qu'il faille un peu rabattre de ses évaluations, il resterait encore un avantage énorme, puisque la dépense à laquelle il arrive ne représente pas plus du quart de celle qu'entraînera le tracé actuellement choisi.

Nous croyons que ces considérations méritent la plus sérieuse attention, et nous demandons la permission de les présenter sous une forme qui les rendra encore plus significatives, croyons-nous.

Supposons arrivé le moment, encore bien loin de nous, où le souterrain des Alpes sera assez avancé pour que l'on s'occupe d'attaquer les travaux des abords, travaux dont le développement, avec le tracé actuellement adopté, est de 56 kilomètres, dont 20 entre Saint-Michel et l'entrée du côté de Modane, et 36 entre Suze et le côté de Bardonnèche. Ces deux sections présentent une pente moyenne d'environ 25 millimètres; mais dans plusieurs points la pente s'élève à 35 millimètres, et des souterrains nombreux et très-importants seront à construire, dont un notamment, du côté de Bardonnèche, a plus de 4,000 mètres de longueur et coïncide avec une pente de 33 millimètres.

Supposons qu'au lieu d'adopter pour le tracé de Saint-Michel à Modane une pente moyenne de 25 millimètres et des courbes de 300 mètres, on adopte une pente générale de 50 millimètres et des courbes de 80 à 100 mètres de rayon, il est hors de doute que les 20 kilomètres à construire pourront être réduits à 12 ou 15, et la dépense diminuée d'un tiers au moins, à cause de la réduction dans la longueur des souterrains et dans l'importance des ouvrages d'art.

Dans cette hypothèse, la traction devrait se faire au moyen d'un rail central, et il reste à savoir quel poids de machine serait nécessaire pour remorquer régulièrement des trains de 100 tonnes, charge maximum qui suffira certainement et au delà au développement que pourra prendre le trafic par l'ouverture d'une ligne définitive.

En comptant sur une adhérence de 0,10, on trouve facilement[1] qu'une machine pesant 27t,5, et pouvant réaliser une pression de 11t,25 sur le rail central, présenterait l'adhérence nécessaire pour remorquer le train de 100 tonnes dont il est question.

1. Voir le chapitre suivant.

La machine n° 2 donne avec ses approvisionnements un poids moyen de 16t,5, et présente une surface de chauffe de 56 mètres carrés; en admettant la proportionnalité entre la surface de chauffe et le poids, on trouverait qu'une machine de 27 tonnes 1/2 aurait une surface de chauffe de 92 mètres. Mais comme la proportion entre la surface de chauffe et le poids est toujours à l'avantage des machines lourdes, on doit admettre qu'une machine du système Fell pesant 27 tonnes moyennement, et 30 tonnes au maximum, avec ses approvisionnements, présenterait une surface de chauffe de plus de 100 mètres carrés.

Au surplus, si cette surface n'était pas atteinte avec le poids de 27t,5, une faible augmentation permettrait de l'obtenir. Le poids de la chaudière et des accessoires de la machine n° 2 s'élève à 3,500 kil., ce qui, la surface de chauffe totale étant de 56 mètres carrés, met à 62 kil. le poids du mètre carré (la machine de M. Petiet pèse (chaudière et accessoires) 68 kil. par mètre carré). Une augmentation de 496 kil. seulement, qui porterait le poids total moyen de la machine à 25 tonnes, permettrait donc de gagner les 8 mètres carrés nécessaires pour compléter la surface de 100 mètres (car $8 \times 62 = 496$).

La seconde question qui se présente est de savoir quelle vitesse permettra d'obtenir cette surface. Or l'effort de traction calculé d'après les données qui précèdent sera de 7,500 kil. environ. C'est ce même effort que la machine à quatre cylindres de M. Petiet développe à la vitesse de 18 kilomètres à l'heure avec une surface de chauffe de 200 mètres environ[1]. On pourra donc marcher à 9 ou 10 kilomètres avec la machine dont il est question, douée, comme nous l'avons dit, de 100 mètres de surface de chauffe.

Pour rester d'ailleurs sur le terrain des expériences que nous avons relatées, nous chercherons une confirmation de cette évaluation dans le travail accompli par la machine n° 2 dans les essais cités plus haut. Elle a fourni, en effet, une vitesse moyenne de 10,704 mètres à l'heure avec 24 tonnes de charge. Ceci donne, la pente moyenne étant de 77 millimètres :

Gravité pour la machine seule, $17^t \times 77$	1,309k
Gravité pour le train, 24×77	1,848
Résistance de la machine, $(17^t + 12)$ 10 kil.	390
Résistance du train, 24×5	120
	3,667k
Supplément pour les courbes, 10 p. 100	367
	4,034k

Le travail produit par les 56 mètres carrés de surface de chauffe peut donc s'évaluer par le nombre $4^t,035 \times 10^k,700 = 43,175$. Le travail

1. Voyez Expériences de Saint-Gobain (*Annales des Mines*, tome V, 1864).

que pourra développer une surface de 100 mètres sera donné par la proportion 43,175 : x : : 56 : 100 d'où $x = 77{,}100$. Avec un effort de traction de 7,500 kil., ce travail permettrait d'atteindre une vitesse de

$$\frac{77{,}100}{75} = 10^{k},2.$$

On obtiendrait donc sans aucun doute cette vitesse sur les pentes de 50 millimètres.

Reste à examiner comment la pression de 40 à 42 tonnes pourra être appliquée au rail central. On pourra l'exercer au moyen de trois paires de roues horizontales, dont chacune n'aura pas plus de 7 tonnes de pression. On pourra aussi, en adoptant un rail central en acier Bessemer, se contenter de deux paires de roues, chacune exerçant une pression de 10 à 11 tonnes[1].

Quant aux roues verticales, elles seront chargées de 7 tonnes chacune environ, ce qui n'a rien d'exagéré, surtout quand on réfléchit qu'une machine à deux essieux n'est pas sujette aux dérèglements de ressorts qui font que, sur une machine à trois ou quatre essieux, la pression dépasse accidentellement la charge sur laquelle on a compté.

Admettons maintenant qu'une modification de tracé analogue soit faite à la section de Bardonnèche à Suze, dont la longueur, par l'adoption de la pente de 50 millimètres, peut être réduite de 36 à 20 kilomètres. La longueur totale de la ligne de Saint-Michel à Suze se trouvera donc de 12,5 + 12,5 + 20 = 45 kilomètres au lieu de 68 actuellement prévus.

Nous avons prouvé que l'on pourrait atteindre à la montée une vitesse de 10 kilomètres, ce qui suppose, pour l'ensemble, une vitesse moyenne de 15 kilomètres à l'heure, la descente et le passage du souterrain, qui est en pente de 22 seulement, pouvant s'effectuer à une vitesse beaucoup plus grande.

D'un autre côté, la vitesse moyenne que l'on obtiendrait avec le tracé de 68 kilomètres ne dépasserait pas, d'après l'exemple du Semmering, une vitesse de 22 kilomètres à l'heure. La durée des traversées serait donc la même dans les deux cas, car $\frac{45}{15} = \frac{68}{22} = 3$ heures environ. Sous ce rapport donc, il y aurait parité absolue. Mais, sous tous les autres rapports, les avantages seraient nombreux et des plus importants.

D'abord, la réduction de 23 kilomètres représenterait une économie de 12 à 15 millions au moins sur la dépense de premier établissement, les travaux des abords ne pouvant être estimés à moins de 500,000 francs par kilomètre. Quant à l'économie résultant de la réduction dans la longueur des souterrains et dans l'importance de tous les ouvrages d'art,

1. Voir la note A, page 488.

nous admettrons qu'elle soit compensée par l'adoption du rail central sur toute la longueur.

En ce qui concerne les dépenses d'exploitation, l'abréviation du tracé donnerait lieu à des économies très-importantes : nous signalerons les principales :

A. — Réduction dans les dépenses du mouvement, résultant de la réduction dans le personnel des gares et des trains.

B. — Réduction dans les dépenses d'entretien de la voie, résultant de la réduction de vitesse (nous admettrons que l'économie provenant de la réduction de longueur de la ligne soit compensée par la plus-value dans l'entretien due à la présence du rail central, ce qui est évidemment inexact, cette dernière source de dépense n'affectant qu'un des éléments de la voie, et ne s'appliquant pas au ballast, ouvrages d'art, bâtiments, etc.).

C. — Réduction dans les frais de traction par les causes suivantes :

1° Économie sur la consommation de combustible, résultant de la réduction dans la charge totale des trains. En effet, pour remorquer un train de 100 tonnes sur des rampes de 33 millimètres par le système ordinaire, surtout en souterrain où l'adhérence sera réduite à sa limite inférieure, il faudrait avoir recours à des machines à roues toutes adhérentes pesant au moins 60 tonnes [1], non compris leurs approvisionnements (car la réduction considérable que subirait son poids adhérent pendant la marche rendrait inadmissible pour d'aussi longs parcours la machine tender) [2]. C'est donc sur des trains bruts de 180 à 190 tonnes qu'il faudrait compter au lieu de trains bruts de 128 tonnes qu'on aurait avec le rail central; soit une réduction d'environ un tiers dans la charge totale à remorquer. Comme d'ailleurs le travail mécanique à dépenser est sensiblement le même dans les deux systèmes, si l'on raisonne sur une même charge brute, puisqu'il s'agit dans les deux cas de l'élever de la même différence de niveau, on voit que l'économie sur la dépense de travail mécanique, et par suite sur celle de combustible, sera d'un tiers à peu près de la dépense à laquelle donnerait lieu dans le système ordinaire le transport du même tonnage utile.

A tous ces avantages nous joindrons celui d'une sécurité absolue à laquelle la réduction du poids des trains et de leur vitesse contribuera pour une bonne part, mais qui sera due surtout à la présence du rail central, ainsi que M. Tyler l'a si judicieusement énoncé; cette sécurité ne saurait être obtenue au même degré avec des trains de 180 à 190 tonnes

1. L'équation $M = \frac{a+\alpha}{f-\alpha} t$ dans laquelle on fait $a = 5$, $t = 100^t$, $\alpha = 35$, $f = 100$, donne $M = 61$ tonnes. (Voyez le chapitre suivant.)

2. La même équation fait voir, en effet, qu'en réduisant M à 55 tonnes par exemple, la valeur de t se réduit à 88 tonnes, c'est-à-dire que 5 tonnes de réduction sur le poids de la machine diminueraient de 10^t celui du train.

descendant, sans autre moyen d'arrêt que les freins ordinaires, les longues pentes de 33 et 35 millimètres que comporte le tracé projeté jusqu'ici.

La seule sujétion qui résulterait de l'adoption de cette solution serait la nécessité de pourvoir le matériel qui franchira la section de Saint-Michel à Suze de galets directeurs destinés à le guider dans les courbes. Rien ne prouve du reste que cette obligation soit absolue, et il est probable que l'addition en tête et en queue de deux véhicules pourvus de galets suffirait pour faciliter le passage des trains en courbe, et en garantir la sécurité. Mais en admettant même qu'il faille absolument y recourir, cela n'introduirait aucune gêne pour le service des voyageurs, car le service international se fait partout avec des voitures qui y sont consacrées exclusivement et font sans cesse la navette : ces voitures pourraient donc être munies de galets qui ne gêneraient aucunement leur passage sur les lignes ordinaires. Quant aux marchandises, la même chose; je veux dire l'affectation d'un matériel spécial au trafic international a lieu également, et comme ce matériel pourrait circuler sur toutes les autres lignes, il n'en pourrait résulter aucune sujétion sérieuse. Pour les marchandises en transit, le transbordement qui est obligatoire aux frontières de l'Espagne et de la Russie[1] pourrait également être appliqué ici, et l'on sait qu'il n'ajoute que peu d'entraves et de dépense au service des marchandises. L'échange des matériels qu'il faut organiser, quand on ne se résigne pas au transbordement, est par lui-même tellement gênant et onéreux, que quelques-unes de nos grandes compagnies préfèrent aujourd'hui s'en affranchir pour les transports de réseau à réseau dans l'intérieur du territoire français. La même solution a d'ailleurs été appliquée pour les lignes d'intérêt local [2].

Les considérations qui précèdent, appuyées sur des expériences irrécusables, dont elles ne sont que la conséquence et l'extension la plus légitime, nous paraissent devoir démontrer à tout esprit non prévenu les avantages considérables que le tracé des lignes de montagne trouvera à l'avenir dans l'application du système de traction proposé et expérimenté par M. Fell. Nous le croyons immédiatement applicable, sans difficulté pratique d'aucun genre, à tous les cas où l'on serait conduit, pour ne pas dépasser le capital de premier établissement, dont l'intérêt peut être couvert par le produit qu'on attend, à adopter des pentes supérieures à 35 millimètres, et des rayons de courbes inférieurs à 200 mètres. Nous croyons qu'il peut dès lors rendre d'immenses services à la construction des lignes destinées à franchir les frontières de plusieurs États européens et les barrières naturelles qui s'élèvent souvent entre les différentes provinces d'un même pays.

1. Par suite de la différence dans la largeur de voie.
2. Voir la note C, page 490.

CHAPITRE III.

DISCUSSION DE QUELQUES OBJECTIONS.

Il est important de remarquer que le système du rail central ne peut en aucune façon prétendre, sauf pour des cas exceptionnels et très-rares, à l'application sur les lignes existantes. Dans les limites de pente dans lesquelles on est resté jusqu'ici, la locomotive ordinaire sera toujours l'instrument le plus parfait. Le rail central ne doit avoir pour mission que d'étendre l'emploi de cet admirable appareil au delà des bornes qui lui sont actuellement posées.

C'est faute d'avoir reconnu cette vérité, et pour avoir voulu, sans utilité aucune, substituer ce système au mode parfaitement satisfaisant aujourd'hui en vigueur sur les grandes lignes, que certains promoteurs de l'application du rail central ont prêté le flanc à des objections sérieuses. Il est évident *à priori* (et les calculs qui vont suivre le démontrent au besoin) que la complication du système, l'excès de résistance qu'il occasionne, font plus que compenser les faibles économies d'effort de traction qu'il procure, quand on ne dépasse pas les limites de rampe actuellement admises.

Mais il est non moins inexact d'étendre ce dernier raisonnement au delà de toute limite, et de prétendre, ainsi que nous l'avons entendu faire par quelques ingénieurs à propos des essais du Mont-Cenis, que la locomotive ordinaire serait, dans les conditions de pentes et de courbes spéciales à cette traversée, tout aussi pratique, tout aussi économique que la machine à rail central. Il nous paraît bien facile de réfuter cette opinion.

Elle est fondée, devons-nous dire d'abord, sur le fait que l'adhérence sur laquelle on peut toujours compter, même en pays de montagne, ne serait jamais inférieure à 0,14. Ce fait paraît admis en principe par des ingénieurs très-expérimentés assurément, mais nous le contestons absolument pour les climats montagneux.

Les expériences que nous avons citées plus haut montrent en effet que l'adhérence peut se trouver réduite à 0,12 au moins, et que, dans ces conditions, la machine à rail central a pu remorquer son train de 24 tonnes, là où la locomotive ordinaire n'aurait pu remorquer que 6 tonnes 1/2. Avec une adhérence de 0,10, qui se rencontrera souvent, la réduction de la charge traînée serait encore plus forte.

Mais laissons de côté cette réfutation par trop facile, et admettons l'adhérence de 0,14. Dans ces conditions, on trouve[1] que ce n'est pas

1. En employant la formule $M = \frac{a+\alpha}{f-\alpha} t$. (Voir le chapitre suivant.)

une machine de 17 tonnes, mais bien une machine de 40 tonnes qu'il faudrait pour remorquer le train de 24 tonnes sur la rampe de 0m,085. C'est donc un train brut de 64 tonnes qu'il faudrait mettre en mouvement sur les rampes, sur les pentes, dans les courbes, soit un supplément de 23 tonnes de poids mort à peu près égal au poids utile que remorque la machine à rail central. De ce chef seul, la consommation de combustible rapportée au poids utile serait doublée au moins. Or, nous le demandons, est-il admissible que cet énorme accroissement de dépense puisse se trouver compensé par la complication, beaucoup plus apparente que réelle, du système de machine, et par la nécessité d'employer le rail central partout où les rampes excèdent 40 millimètres? Nous croyons que poser la question, c'est la résoudre.

Il y a du reste toute une face de la question que nous avons laissée de côté. Une machine de 40 tonnes suppose quatre essieux couplés : possède-t-on un moyen simple, pratique, de faire passer une machine de cette espèce dans des courbes de 40 mètres? En supposant que ce moyen existe, l'excès de résistance qu'entraînera toujours le passage de la machine dans ces courbes n'est-il pas un élément qui (indépendamment de la gravité) apportera encore son contingent à l'excès de dépense de combustible; de même aussi pour le reste du train?

Enfin, si l'on envisage la sécurité, possède-t-on un système de frein capable de modérer et d'annuler au besoin la vitesse à la descente (sur des pentes de 70 à 80 millimètres) d'un train, non plus de 40, mais de 64 tonnes? Que sera-ce s'il faut à ces vitesses, peut-être excessives, franchir des courbes de 40 mètres, sans autre garantie contre les déraillements et les chutes dans les précipices, que la saillie d'un boudin de roue retenu par le rail extérieur de la courbe?

Nous croyons que ce serait mettre nos contradicteurs à une rude épreuve que de les prendre au mot, et de leur proposer de circuler dans ces conditions, c'est-à-dire avec une machine et des voitures dépourvues de la garantie de sécurité du rail central, sur la ligne expérimentale du Mont-Cenis ; tandis qu'au contraire, pendant cinq mois qu'a duré le service d'essai de cette ligne, de nombreux visiteurs appartenant aux populations voisines ou venant de l'étranger ont pu la parcourir sans accident, sans danger, et, nous sommes convaincu de n'être démenti par aucun d'entre eux, sans appréhension, ou du moins sans craintes sérieuses.

D'ailleurs, nous le répétons, compter sur une adhérence de 0,14 en pays de montagne est une hypothèse entièrement inadmissible : 0,10 est la valeur pratique à laquelle on doit s'attendre, et c'est celle qui a été admise par tous les ingénieurs qui se sont occupés de ces questions. Or, avec 0,10, ce n'est plus 40 tonnes, c'est 80 et 100 tonnes que devrait peser la machine ordinaire pour mener le train de 24 tonnes sur la rampe de 85 millimètres : ce n'est plus un train de 64, mais un train de

100 à 120 tonnes qu'il s'agirait de retenir sur la pente; ce n'est plus 4, mais 8 ou 10 essieux couplés auxquels il faudrait faire franchir les courbes; ce n'est plus le double, mais le quadruple au moins de la dépense de traction auquel on arriverait.

Il faut donc reconnaître que la traction par les moyens ordinaires devient impraticable au delà de certaines limites, et que le procédé du rail central ouvre à la locomotive un nouveau et vaste champ d'application.

Pour terminer ce sujet, nous croyons important de faire remarquer deux enseignements qui ressortent des belles expériences de M. Fell.

Le premier, c'est que les limites posées par beaucoup d'ingénieurs à la puissance de vaporisation des locomotives étaient par trop absolues, et qu'en cette matière, comme en beaucoup d'autres, il faut se garder de prendre les résultats d'une pratique journalière, voisine de la routine, pour des données expérimentales à l'abri de toute contestation.

Ainsi l'on admet généralement qu'il faut 0 mètre carré 60 de surface de chauffe par force de cheval produite. La machine de M. Fell développe moyennement un effort de 4,035 kilog., à la vitesse de 10,700 mètres par heure, ce qui représente 160 chevaux de force pour 56 mètres carrés, soit $0^{mq},35$ par force de cheval. Il y a loin de ce résultat à la donnée prétendue pratique que nous venons de citer[1].

Ce résultat montre aussi que le poids des locomotives ordinaires pourrait être sensiblement réduit, si la nécessité de conserver l'adhérence nécessaire ne limitait cette réduction.

Pour terme de comparaison, nous prendrons la machine à 4 cylindres de M. Petiet.

Cette machine a développé, dans l'expérience citée plus haut, de Saint-Gobain, un effort de 7,500 kilog., à la vitesse de 18 kilomètres, d'où résulte un travail de 500 chevaux. Son poids, en ordre de marche, étant de 60 tonnes, cette machine pèse donc 120 kilog. par force de cheval.

La machine de M. Fell pèse 112 kilog. par force de cheval, malgré l'addition du mécanisme intérieur et l'infériorité qui résulte de la petitesse de la machine, relativement aux approvisionnements.

Si nous faisons cette comparaison, ce n'est nullement pour critiquer la machine de M. Petiet, qui est certainement une des plus belles créations mécaniques de ces derniers temps, et qui a réalisé un progrès considérable, mais simplement pour faire ressortir ce fait, que les allégements au delà d'une certaine limite deviennent impossibles pour la locomotive ordinaire, parce que l'adhérence lui ferait défaut.

Ceci ressortira encore plus nettement du tableau suivant :

1. Ces résultats sont dus, il faut l'ajouter, à l'étendue relative de la surface de grille et à l'absence de détente qui augmente notablement l'effet de l'échappement.

DÉSIGNATION.	MACHINE PETIET.	MACHINE Nº 2 DE M. FELL.	
	kilos.	kilos.	
Poids en ordre de marche, par mètre quarré de surface de chauffe.	280	320	(compris le mécanisme intérieur.)
Poids en ordre de marche, Id.....	280	280	(déduction faite du mecanisme intérieur.)
Poids vide, Id.....	233	187	(déduction faite du mécanisme intérieur.)
Poids de la chaudière et des accessoires, Id.....	68	62	
Poids des approvisionnements, Id.....	47	67	

On voit d'abord résulter de ce tableau que le surcroît dû à l'approvisionnement est d'autant plus désavantageux que la machine est plus petite, et que c'est à ce surcroît qu'est dû en partie l'avantage de la machine de M. Petiet, comparée en ordre de marche. En somme, la différence est de 40 kilog. par mètre carré de surface de chauffe.

Mais on voit de plus que, si l'on appliquait à la machine de M. Petiet les allégements qui ont été apportés à la machine de M. Fell, on pourrait réduire son poids dans une proportion considérable. Car 214 mètres carrés à 187 kilog. ne donnent que 40 tonnes, qui, avec 10 tonnes d'approvisionnement, réduiraient le poids de la machine Petiet à 50 tonnes. Il est évident qu'alors elle manquerait d'adhérence, et que c'est réellement la nécessité de conserver l'adhérence qui empêche de donner aux machines locomotives une plus grande légèreté. Ainsi disparaît cet argument devenu banal à force d'avoir été répété, à savoir, que les *machines puissantes sont nécessairement lourdes*, et qui avait été opposé comme une fin de non-recevoir absolue aux tentatives d'allégement que comporte nécessairement l'application du rail central.

La seconde remarque que nous tenions à faire est relative à la limite de l'effort de traction que l'on peut attendre d'une machine locomotive.

Nous lisons, en effet, dans le rapport d'une commission officielle instituée pour juger un projet de locomotive à rail central, l'énoncé d'une proposition d'après laquelle, sur les rampes de 50 millimètres, une locomotive, *quel qu'en soit le système*, ne pourrait, en aucun cas, remorquer un poids supérieur au sien. Si nous relevons cette affirmation, au moins hasardée, ce n'est pas pour nous donner le facile plaisir de faire voir combien elle s'éloigne des faits qu'elle avait la prétention de prédire, mais seulement afin de montrer l'erreur de raisonnement sur laquelle

elle repose. C'est en effet en établissant une proportion entre les charges traînées sur différentes rampes par une machine d'un poids donné que l'on est arrivé à la conclusion que nous critiquons. Le raisonnement est à peu près exact[1], si l'on admet que la vitesse ne varie pas dans ces différents cas. Mais si on la fait varier en sens inverse de l'accroissement de l'inclinaison, les bases du raisonnement disparaissent, et voici alors comment il doit être établi : Étant donnée une locomotive d'une surface de chauffe et par suite d'un poids donnés, capable par conséquent d'une production de vapeur également déterminée, on conçoit que le travail de cette vapeur équivaut, déduction faite des pertes inévitables, au produit de deux facteurs, l'un la vitesse, l'autre l'effort de traction total. Si l'on veut transmettre ce travail aux roues de cette machine, supposée n'agir que par son poids, il est impossible de réduire sa vitesse au-dessous d'une certaine limite, parce qu'alors l'effort de traction dépasserait la limite d'adhérence et amènerait le patinage. Si, au contraire, on ajoute à cette machine des roues horizontales agissant par pression sur un rail central, la vitesse peut être réduite et l'effort de traction accru en quelque sorte indéfiniment (par l'augmentation de la pression), pourvu que le produit de ces deux éléments reste équivalent au travail disponible. En même temps le minimum de pression à appliquer au rail central est déterminé par la condition que le supplément d'effort de traction ainsi obtenu fasse équilibre à la perte occasionnée par le surcroît de poids dû au mécanisme des roues horizontales et par le surcroît de résistance qu'occasionne ce mécanisme.

Tel est, dans toute sa simplicité, le principe sur lequel est fondé l'emploi du rail central. Nous l'avons déjà présenté (Voy. Mémoire lu le 18 mars 1864), et nous le répétons ici parce qu'il a été entièrement vérifié par les faits.

CHAPITRE IV.

CALCUL DE L'EFFET UTILE DES MACHINES A RAIL CENTRAL, ET COMPARAISON AVEC CELLES DU SYSTÈME ORDINAIRE.

J'ai indiqué dans le mémoire lu à la séance du 18 mars 1864 (page 75) les résultats généraux de la comparaison faite au point de vue purement mécanique entre la traction par machine locomotive ordinaire et celle par locomotive à adhérence supplémentaire, sur les rampes de diverses inclinaisons.

Je crois devoir donner *in extenso* les calculs et les résultats numériques

1. Sauf l'erreur qui résulte de ce qu'on prend, pour la courbe des *efforts de traction*, une ligne droite au lieu d'une hyperbole. (Voyez le chapitre suivant.)

de cette comparaison qui, quoique n'embrassant qu'une partie de la question, fournit cependant des données de la plus grande importance.

Considérons une machine locomotive ordinaire à roues *toutes adhérentes*, remorquant un train, et soit R l'effort de traction appliqué au bouton de manivelle de la roue motrice par la bielle (c'est-à-dire déduction faite des résistances passives qui s'exercent entre le piston et le bouton de manivelle), et rapporté à la circonférence de la roue motrice, c'est-à-dire multiplié par le rapport inverse des rayons de la manivelle et de la roue.

Soit r la valeur d'une force horizontale, qui, appliquée également, mais en sens inverse de R, à la circonférence de la roue motrice, équivaudrait à l'ensemble des résistances passives développées par le mécanisme *à partir* du bouton de manivelle; c'est-à-dire que r ne comprendra pas les résistances dues au frottement du piston dans le cylindre, de la tige dans le presse-étoupe, de la grosse tête de bielle motrice et de la crosse dans les glissières, toutes résistances dont défalcation est faite dans la valeur de la force R.

Il est clair que l'effort de traction disponible à la circonférence des roues, ou pour mieux dire au crochet d'attelage, sera égal à $R - r$.

Soit M le poids de la machine en tonnes de 1000 kilog., f le coefficient d'adhérence.

La limite supérieure de l'effort R est donnée par la relation $R - r = Mf$. A cette condition, en effet, l'effort disponible $R - r$ ne fera pas patiner la machine.

D'autre part, en appelant :

α la tangente naturelle de l'inclinaison de la rampe;

a le coefficient de résistance du train, non compris la machine, exprimé en millièmes pris pour unité;

t le poids du train exprimé en tonnes,

on a la relation : $Mf = \alpha M + (a + \alpha)t$,

(1) d'où $$M = t\frac{a+\alpha}{f-\alpha}$$

par suite : $$R - r = Mf = ft\frac{a+\alpha}{f-\alpha},$$

ou : $$R = r + ft\frac{a+\alpha}{f-\alpha}.$$

Des expériences nombreuses[1] ont montré que r était proportionnel au

1. Nous citerons entre autres celles faites par M. Poirée au chemin de fer de Lyon, et qui sont relatées dans les *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*. M. Poirée opérait sur une machine dont il avait enlevé le bouton d'articulation de la tête de bielle. Elle était donc dans les conditions que nous avons supposées pour la détermination de r.

poids de la machine et sensiblement égal à 10 kilogrammes par tonne de ce poids. On a donc $r = M = 10t\frac{a+\alpha}{f-\alpha}$ (r étant exprimé en kilogrammes).

Et, par suite, l'effort de traction à développer sur la circonférence de la roue motrice pour produire le mouvement de la machine et du train est donné par la formule :

$$R = (f+10).\frac{a+\alpha}{f-\alpha}.t, \qquad (2)$$

dans laquelle f, a, α seront exprimés en millièmes pris pour unités, t en tonnes de 1,000 kilos, et R en kilogrammes.

Considérons maintenant une locomotive à adhérence supplémentaire obtenue par la pression sur un rail central d'un système de roues horizontales; soit P cette pression, les autres lettres ayant la même signification que plus haut. On aura d'abord :

$$R - r = (M+P)f,$$

et d'autre part $$(M+P)f = \alpha M + (a+\alpha)t.$$

Soit K le rapport $\frac{P}{M}$ de la pression horizontale au poids de la machine, on aura $P = MK$, et par suite :

$$M + P = M(1+K),$$

on a donc : $$M(1+K)f = \alpha M + (a+\alpha)t,$$

d'où $$M = \frac{a+\alpha}{f(1+K)-\alpha}t. \qquad (3)$$

Pour obtenir la valeur de R, remarquons que r est ici composé de deux termes : l'un proportionnel à la pression M, l'autre à la pression P. Dans les expériences de Whaley-Bridge, le coefficient du terme proportionnel à P, c'est-à-dire la résistance par tonne de pression due au mécanisme intérieur, était de beaucoup supérieure à la résistance par tonne de poids due au mécanisme extérieur. Dans la dernière machine exécutée pour le Mont-Cenis, le principal perfectionnement a consisté à mettre les deux mécanismes dans des conditions presque absolument identiques, et les deux résistances sont, l'expérience l'a confirmé, à très-peu près les mêmes. On a donc :

$$r = 10M + 10P = 10(M+P) = 10M(1+K),$$

substituant pour M sa valeur (3), on trouve :

$$r = 10.\frac{(a+\alpha)(1+K)}{f(1+K)-\alpha}t.$$

De ce qui précède, on déduisait :

$$R = r + (M + P) f = r + M (1 + K) f,$$

et par suite :

$$(4) \qquad R = t \frac{(1 + K)(a + \alpha)(f + 10)}{f(1 + K) - \alpha}.$$

A l'aide des formules (1), (2), (3), (4), on peut calculer pour chaque cas particulier : 1° le poids de machine nécessaire pour gravir une rampe donnée, avec un train d'un poids donné, l'adhérence étant également déterminée; 2° l'effort de traction correspondant.

Ces formules permettent également une comparaison mécanique entre les deux systèmes de traction.

Supposant un train de 100 tonnes et donnant à l'adhérence les trois valeurs 0,10, 0,15 et 0,20, qui correspondent dans les formules à $f = 100$, 150 ou 200, admettant pour a la valeur de 5 kilos par tonne, pour K la valeur 1,5[1], on obtient pour chaque valeur d'α, depuis 0 jusqu'à 100 millimètres, une valeur de l'effort de traction R dans les deux systèmes.

C'est de cette manière que nous avons pu former les tableaux 1, 2 et 3, que nous donnons (page 48), et les courbes 1, 2 et 3 (pl. 53). Ces dernières ont été obtenues en prenant pour abcisses les diverses valeurs de l'inclinaison des rampes, et pour ordonnées les nombres trouvés pour l'effort de traction.

Ainsi que nous l'avons annoncé, on voit[2] que les efforts de traction dans les deux systèmes diffèrent peu, tant que les inclinaisons sont faibles, quelles que soient d'ailleurs les valeurs attribuées au coefficient d'adhérence, ce qui confirme l'opinion émise de tout temps, que l'application du rail central n'est pas motivée pour les lignes actuellement existantes, où les rampes ne dépassent pas 20 à 25 millimètres.

Mais pour les inclinaisons entre 50 et 80 millimètres, telles que celles qui se rencontrent au Mont-Cenis et dans beaucoup d'autres traversées de montagne, l'avantage est en faveur du système du rail central, et reste toujours considérable, quelle que soit la valeur de l'inclinaison, puisque même avec le coefficient de 0,20, limite supérieure de l'adhérence, l'effort de traction avec le système ordinaire est, pour la pente de 80 millimètres, de 50 p. 100 environ supérieur à l'effort de traction nécessaire en employant le rail central.

Une autre remarque importante est que la variation de l'effort de traction dans le système ordinaire, pour une même inclinaison, est considérable quand on fait varier l'adhérence. Par exemple, pour la rampe de

1. Ce qui revient à supposer la pression sur le rail central égale à une fois et demie le poids de la machine.

2. Voyez le mémoire lu le 18 mars 1864, page 75.

50 millimètres, l'effort de traction, qui est de 12,100 kil. pour l'adhérence de 0,10, se réduit à 8,800 kil. avec 0,15, et à 7,700 avec 0,20.

Dans le système à rail central, au contraire, l'effort de traction varie beaucoup moins; pour la même inclinaison de 50 millimètres, il passe de 7,560 à 6,580 et 6,410 kil., quand l'adhérence passe de 0,10 à 0,15 et à 0,20.

Il s'ensuit que les variations de l'adhérence, qui sont fréquentes en pays de montagne, seront sans résultat prononcé sur l'effet utile des machines à adhérence supplémentaire. Pour les machines ordinaires, au contraire, dont la puissance est beaucoup plus affectée par les variations de l'adhérence, on est obligé, pour éviter d'en manquer, d'adopter le poids de machine qui correspond à sa limite inférieure, et à sacrifier ainsi l'effet utile des machines à la régularité de marche des trains[1]; de là résulte une infériorité encore plus sensible que celle qui est accusée par les tableaux; ou, pour mieux dire, on aurait la mesure de cette infériorité en ne considérant de ces tableaux que celui où l'adhérence a été comptée à son minimum, soit 0,10, puisque c'est toujours d'après ce minimum que la charge des trains devra être réglée dans la pratique.

Pour permettre d'évaluer complétement l'effet utile des deux systèmes, nous joignons un tableau n° 2 (page 484), qui présente le rapport entre l'effort *utile* de traction d'un train de 100 tonnes et l'effort total à exercer dans les divers cas de rampes et de système de machine. Nous nous sommes borné à calculer ces résultats avec une adhérence de 0,10, cette valeur étant, d'après la remarque faite plus haut, celle à laquelle il faut s'en tenir, si l'on veut avoir une comparaison exacte des deux systèmes.

Les équations (2) et (4) sont celles de deux hyperboles, si l'on y prend R et α pour variables. Dans ces courbes qui composent les trois tableaux graphiques 1, 2 et 3, (pl. 53) les ordonnées sont les nombres correspondants aux diverses adhérences dans le tableau n° 1. Nous avons en outre tracé deux lignes droites. La ligne inférieure est celle des efforts *utiles*, c'est-à-dire qu'elle a pour ordonnées les résistances à la traction du train de 100 tonnes seul sur les diverses rampes. La ligne supérieure est celle des efforts de traction à développer pour remorquer le train de 100 tonnes en employant le système de traction par câble et locomoteur proposé par M. Agudio, dans l'hypothèse de plans inclinés d'une longueur minimum de 6 kilomètres, et en adoptant d'ailleurs toutes les données admises par l'inventeur.

On voit que, même en adoptant l'adhérence de 0,10, les effets utiles de

1. Encore ce résultat est-il bien loin d'être toujours atteint. Nous citerons entre autres les lignes de l'Apennin, où les trains de 100 à 120 tonnes sont traînés sur les pentes de 25 millimètres par les machines Beugniot dont le poids atteint 70 tonnes (approvisionnement compris), sans pourtant que la marche des trains puisse être encore régularisée d'une manière complète, malgré tous les efforts faits jusqu'à ce jour.

ce système, plus avantageux que ceux du système ordinaire pour des inclinaisons supérieures à 45 millimètres, sont inférieurs à ceux du système à rail central, jusques et y compris l'inclinaison de 100 millimètres qui peut être prise comme limite extrême.

Nous ferons remarquer en outre que nos évaluations ne tiennent pas compte de la résistance due aux courbes, résistance qui affecterait encore bien plus défavorablement les chiffres relatifs au système ordinaire, et surtout au système Agudio, pour lequel la limite inférieure du rayon des courbes est, d'après l'inventeur lui-même, 300 à 400 mètres.

Nous donnons en outre un tableau n° 3 (page 485) qui présente pour les inclinaisons de 0 à 100 millimètres, le poids de la machine strictement nécessaire pour remorquer le train de 100 tonnes, dans les deux systèmes de traction par locomotive ordinaire et par locomotive à rail central; l'adhérence admise a été celle de 0,10, par les raisons exposées précédemment.

Les dernières colonnes de ce tableau donnent les poids de machine auxquels on arrive, pour chaque rampe, quand on adopte les deux systèmes de locomotive, et que l'on calcule, à l'aide des efforts de traction précédemment déterminés et de vitesses données pour chaque inclinaison, les quantités de travail correspondantes. Pour arriver à ces poids, nous avons admis pour le système ordinaire 120 kilos par force de cheval, et 112 kilos pour le système à rail central. Nous n'avons, du reste, donné ces calculs que jusqu'à 80 millimètres inclusivement.

Nous ferons observer que ces deux chiffres (120 et 112 kilos) correspondent, l'un à la machine de M. Petiet, qui pèse 60 tonnes, et l'autre à la machine n° 2 de M. Fell, qui n'en pèse que 17. Il est donc à croire que l'emploi de ces deux facteurs donne pour le système ordinaire des nombres trop faibles, et pour le système à rail central des nombres trop forts, car les machines de 17 tonnes du système ordinaire pèsent bien plus de 120 kilos par force de cheval, et, d'un autre côté, il est infiniment probable qu'une machine de 60 tonnes du type Fell n° 2 serait bien plus légère par force de cheval que celle de 17 tonnes du Mont-Cenis, l'avantage étant toujours, sous ce rapport, aux machines les plus puissantes.

Malgré cette cause d'infériorité, on remarque que :

1° Pour les machines ordinaires, le poids calculé à raison de 120 kilos par force de cheval, c'est-à-dire celui qui résulte de la condition d'avoir la surface de chauffe nécessaire, est, à partir de 20 millimètres, inférieur au poids déterminé par la seule condition de l'adhérence;

2° Pour la locomotive à rail central, le poids déterminé par la surface de chauffe, à raison de 112 kilos par force de cheval, est toujours supérieur à celui qui résulte de la condition de l'adhérence pour les inclinaisons qui ne dépassent pas 50 millimètres, et les différences sont assez faibles, surtout aux environs de 50 millimètres, pour pouvoir être regagnées par les allégements dont les machines puissantes sont susceptibles.

Il suit de là d'une part que, *dès la pente de* 20 *millimètres* par mètre, l'adhérence devient insuffisante pour les machines du type ordinaire, et que, pour les mettre en état d'utiliser leur puissance de vaporisation, il faut accroître artificiellement leur poids. C'est à cette inclinaison, par conséquent, qu'il semblerait qu'on doive établir la limite au delà de laquelle ce système de machine commence à perdre ses avantages. Ainsi, sur les rampes de 40 millimètres, une machine ordinaire de 43,992 kilog., soit 44 tonnes, devrait être lestée de 31 tonnes environ pour remorquer le train de 100 tonnes utiles à la vitesse de 12 kilomètres à l'heure.

Pour les machines du type à rail central, au contraire, l'adhérence est plus que suffisante, et loin d'avoir à ajouter du poids, il faudra par tous les moyens possibles arriver à en retrancher. La voie du progrès est donc toute tracée pour cette espèce de locomotive, et les perfectionnements déjà obtenus sous le rapport du poids dans un grand nombre d'autres machines [1] trouveront ici leur application.

Toutefois la conclusion à laquelle nous arrivons pour la locomotive ordinaire suppose l'adoption des vitesses choisies arbitrairement qui figurent dans notre tableau. Il est évident qu'on pourrait, au lieu de *lester* la machine en ajoutant du poids mort, utiliser ce surcroît de poids en augmentant la surface de chauffe, et augmenter conséquemment la vitesse. Aussi la comparaison des quantités de travail dépensées dans chaque cas ne peut-elle mener à une conclusion rigoureuse.

Pour éclaircir cette question, reprenons les équations (1) et (2) qui donnent pour le poids de la machine ordinaire

$$M = t\frac{a+\alpha}{f-\alpha} \qquad (1)$$

pour l'effort de traction

$$R = (f+10)\frac{a+\alpha}{f-\alpha}\,t. \qquad (2)$$

Soit V la vitesse en mètres par seconde, et T le travail en chevaux,

$$T = \frac{VR}{75} = \frac{V}{75}(f+10)\frac{a+\alpha}{f-\alpha}\,t.$$

Soit n le poids par force de cheval auquel on arrive dans ce système de machine; le poids total nécessaire pour que, à la vitesse donnée V, la machine utilise toute sa puissance de vaporisation, sera

$$M' = nT = \frac{nV}{75}(f+10)\frac{a+\alpha}{f-\alpha}\,t,$$

1. Notamment les pompes à incendie à vapeur dont le poids par force de cheval a été réduit à 70 et même 50 kilogrammes.

et si l'on veut que cette valeur du poids satisfasse à la condition de l'adhérence, il faudra poser

$$M = M',$$

d'où on conclut :

$$\frac{n\,V}{75}(f+10) = 1,$$

et

$$(5) \qquad V = \frac{75}{n\,(f+10)}.$$

On remarque que V est *indépendant de l'inclinaison de la rampe et du poids du train.*

Faisant $f = 100$ et $n = 0^k,120^k$, on trouve :

$$V = 20,412^m.$$

En adoptant cette vitesse pour la locomotive ordinaire, on pourra consacrer le supplément de poids à créer la surface de chauffe voulue pour l'utilisation complète de cette adhérence.

Autrement dit, la vitesse de 20,412 mètres par heure est la seule à laquelle les machines ordinaires pesant 120 kilog. par force de cheval devront travailler, avec l'adhérence de 0,10 et *quelle que soit* la pente, pour utiliser à la fois et complétement leur adhérence et leur surface de chauffe. C'est donc à cette vitesse qu'il convient de les comparer aux autres systèmes.

Considérons maintenant les équations (3) et (4) qui donnent

$$(3) \quad M = t\,\frac{(a+\alpha)}{f\,(1+K)-\alpha} \qquad (4) \quad R = t\,\frac{(1+K)\,(a+\alpha)\,(f+10)}{f\,(1+K)-\alpha}$$

pour le poids et l'effort de traction des machines à rail central.

Nous trouverons comme tout à l'heure :

$$T = \frac{VR}{75} = \frac{tV}{75}\,\frac{(1+K)\,(a+\alpha)\,(f+10)}{f\,(1+K)-\alpha},$$

et si n' représente le poids par force de cheval,

$$M' = n'\,T.$$

Si l'on veut que cette valeur du poids de la machine satisfasse à la condition de l'adhérence, il faudra poser

$$M = M',$$

d'où on conclut

$$(6) \qquad V = \frac{75}{n'\,(1+K)\,(f+10)}.$$

Cette équation renferme deux variables V et K, qui sont liées par la condition qu'elle exprime. Mais l'on voit sur-le-champ que V ne peut dé-

passer un maximum, celui qui correspond au cas où K = 0, car alors on reviendrait aux locomotives ordinaires. En donnant à n' la valeur $0^k,412$ résultant de la machine n° 2 de M. Fell, on trouve pour K = 0, V = $6^m,09$, ce qui répond à 21,924 mètres à l'heure.

On peut donc dire que la vitesse de 22 *kilomètres à l'heure* est le *maximum* auquel puisse atteindre une locomotive à rail central pesant 412 kil. par force de cheval, *quels que soient la pente et le train qu'elle a à remorquer*, si l'on veut qu'elle utilise complétement sa surface de chauffe et son adhérence.

Ce résultat est très-remarquable en ce qu'il limite sur-le-champ les applications de ce genre de machines, et qu'en même temps il fait justice des prétentions déraisonnables qui ne vont à rien moins qu'à substituer ce mode de traction à celui employé pour les trains à grande vitesse sur les grandes lignes à faibles pentes.

Si l'on donne à K la valeur 1,5 que nous avons introduite dans les calculs numériques qui précèdent, on trouve pour V la valeur $2^m,44$ qui correspond à $8^k,734$ mètres à l'heure, minimum fort admissible pour les fortes pentes, mais que nous n'adopterons cependant pas pour la comparaison avec la machine ordinaire.

Pour faire cette comparaison, nous adopterons la valeur de K qui correspond à la vitesse moitié de celle que nous avons déterminée plus haut pour la machine ordinaire, c'est-à-dire 20,412 mètres à l'heure. Cette vitesse est de 10,206 qui répond à $2^m,83$ par seconde. La valeur de K correspondante est 1,15.

En adoptant cette base, nous pourrons comparer, comme l'a fait le capitaine Tyler, les quantités de travail dépensées dans chaque système pour des pentes moitié les unes des autres.

C'est ainsi qu'a été calculé le tableau n° 4 (page 486) : à l'inspection de ce tableau, on reconnaît qu'en comparant le travail dépensé pour une rampe donnée par la machine ordinaire, avec celui que consomme la machine à rail central sur une rampe double, il y a une économie de 30 à 40 p. 100 en faveur de ce dernier système, quand on rapporte la dépense au poids utile remorqué, poids qui est ici de 100 tonnes.

Si l'on compare les dépenses de travail mécanique sur *la même rampe*, on reconnaît que la réduction dans cette dépense pour les pentes de 20 à 30 millimètres va jusqu'à 60 et 72 p. 100, en faveur du rail central, quoique la réduction dans la vitesse ne soit que de 50 p. 100. Il y aura donc, en laissant de côté l'économie de premier établissement qui résulterait de l'adoption de pentes doubles de celles actuellement en usage, et en considérant une ligne *existante* à profil accidenté, avantage à recourir au troisième rail toutes les fois que la vitesse des trains pourra, sans inconvénient pour le service, être réduite au-dessous de 20 kilomètres à l'heure. Ces cas sont exceptionnels, il est vrai, mais ils peuvent se rencontrer.

Il nous reste quelques conséquences à tirer des équations (5) et (6).

Nous avons dit, comme résultant de l'équation,

$$(5) \qquad V = \frac{75}{n\,(f+10)},$$

que la vitesse de 20,412 mètres à l'heure, qui correspond à $n = 0^{t},120$ et $f = 100$, était la seule à laquelle les machines ordinaires à roues toutes adhérentes pouvaient utiliser à la fois leur adhérence et leur puissance de vaporisation.

Pourtant, dans la pratique, cette vitesse est énormément dépassée, notamment sur les lignes à faible inclinaison et par les machines à roues libres. Le tableau n° 3 (page 485) donne l'explication de ce fait : on y voit, en effet, que, pour obtenir la surface de chauffe nécessaire à la traction de 100 tonnes à la vitesse de 72 kilomètres à l'heure sur palier, il suffit d'ajouter au poids exigé par l'adhérence un supplément de 11 tonnes seulement, ce qui n'augmente que faiblement l'effort de traction.

En revanche, si l'on veut descendre au-dessous de cette limite, on voit par ce même tableau que, pour obtenir l'adhérence voulue à la vitesse de 10 kilomètres à l'heure, par exemple, sur rampe de 50, il faut ajouter un lest ou poids mort de 57 tonnes, ce qui augmente énormément l'effort de traction.

La vitesse de 20 kilomètres à l'heure doit donc être considérée plutôt comme un minimum correspondant aux machines à roues toutes adhérentes et à l'adhérence de 1/10. Il va sans dire que l'hypothèse d'une adhérence plus forte réduirait ce minimum : ainsi, pour 0,14, on trouverait 16 kilomètres à l'heure. Mais pour la traction en pays de montagne, c'est 1/10 qu'il faut adopter, et 20 kilomètres est alors la règle.

C'est là que commence le rôle de la machine à rail central, qui ne peut dépasser supérieurement 22 kilomètres à l'heure, mais qui peut inférieurement descendre aussi bas qu'on le voudra, moyennant l'augmentation de K, ainsi que l'indique la formule

$$(6) \qquad V = \frac{75}{n'\,(f+10)\,(1+K)}.$$

Les deux types de machines ont donc des fonctions bien déterminées et ne sont pas faites pour entrer en lutte : là où finit la supériorité de l'une commence le domaine de l'autre, et c'est la vitesse qui établit la ligne de démarcation.

Il y a cependant une observation importante à faire : si l'on réduit n (équation 5), on augmente V, c'est-à-dire que les allégements que l'on réaliserait sur la machine ordinaire ne lui profiteraient pas comme machine à petite vitesse, puisqu'ils ne feraient qu'élever la limite *au-dessus* de laquelle elle commence à perdre ses avantages.

Au contraire en réduisant n', on augmente V' (équation (6)), c'est-à-dire que l'on élève la limite de vitesse *au-dessus* de laquelle la machine

rail central perd sa raison d'être, et en même temps, moyennant une augmentation correspondante de K, on peut descendre inférieurement aussi bas que l'on veut.

Ainsi donc les allégements pour la machine ordinaire ne lui sont profitables que quand on l'emploie à grande vitesse : à faible vitesse, ils lui sont nuisibles. Au contraire, en allégeant la machine à rail central, on favorise son emploi à des vitesses plus fortes, sans cependant nuire à sa supériorité comme moteur à faible vitesse.

Beaucoup de personnes considéreront peut-être comme chimérique la réduction de la vitesse des trains au-dessous de 20 kilomètres. Il n'est cependant pas douteux que si l'on pouvait, sur certains passages difficiles, réduire accidentellement la vitesse des trains, sauf à la relever une fois le passage franchi, cela vaudrait infiniment mieux, comme service, que le dédoublement des trains, l'emploi des doubles tractions, ou les plans inclinés avec câbles et poulies. Nous en citerons un exemple qui nous donnera en même temps l'occasion de tirer parti de la formule (6).

En étudiant le service de la ligne de Saint-Michel à Suze, on a reconnu qu'on pourrait faire faire le trajet entier aux trains de marchandises en 8 heures, en adoptant sur les rampes de 0,077 une vitesse de 6 kilomètres à l'heure, et sur les parties en rampe inférieure à 40 $^{m}/_{m}$ une vitesse moyenne de 14 kilomètres. Or le trajet en 8 heures répond à tous les besoins.

Ici se présente une question dont la formule (6) donne la solution immédiate. Quelle doit être la pression à exercer sur le rail central pour marcher à cette vitesse de 6 kilomètres ? La formule donne K = 2,60 environ.

Il faudra donc, pour utiliser toute la puissance de vaporisation à cette vitesse, que la pression puisse, sur le rail central, être portée au poids de la machine, multiplié par 2,6, soit 44 tonnes environ, chiffre qui peut être atteint sans difficulté.

Il va sans dire que ce résultat suppose $f = 100$ et $n' = 0^{t},112$. Or il est clair que n' est fonction de K, car pour pouvoir réaliser une pression de 44 tonnes, le poids d'un certain nombre de pièces devrait être augmenté, de manière à dépasser le chiffre de 112 kilos par force de cheval.

Il serait facile de tenir compte de cette circonstance en posant

$$n' = n + m\mathrm{K},$$

et en calculant n et m d'après les données de la machine actuelle. En substituant dans la formule (6) on en tirerait une équation du deuxième degré en K. Mais en la résolvant on trouve pour K un chiffre très-voisin de celui que nous avons obtenu par l'équation (6). De sorte que cette méthode, plus rigoureuse, n'est, en définitive, pas beaucoup plus exacte, tout en étant plus compliquée; car il va sans dire que la pression hori-

zontale n'a pas besoin d'être déterminée avec une précision mathématique, puisqu'elle dépend du poids, qui varie lui-même avec les variations de l'approvisionnement.

Les tableaux graphiques nos 4, 5 et 6 (pl. 53) sont la traduction en courbes des chiffres donnés par le tableau n° 4 (page 486). Nous avons ajouté sur le tableau graphique n° 4 les lignes relatives au système Agudio, desquelles il résulte que ce système, au point de vue du travail mécanique, ne l'emporte sur les machines ordinaires, à la vitesse de 20 kilomètres, qu'à partir de la rampe de 45 $^{m}/_{m}$, et qu'il est constamment inférieur, tant à 10 qu'à 20 kilomètres, aux locomotives à rail central.

Tableaux numériques.

TABLEAU N° 1 *donnant l'effort de traction total à exercer pour remorquer un train utile de 100 tonnes, sur des rampes dont l'inclinaison varie de 0 à 100 millimètres, et pour différentes valeurs du coefficient d'adhérence, en employant :*

1° *La locomotive ordinaire à roues toutes adhérentes;*

2° *La locomotive à roues horizontales exerçant sur un rail une pression égale à une fois et demie son poids.*

INCLINAISONS	ADHÉRENCE ÉGALE A 0,10.		ADHÉRENCE ÉGALE A 0,15.		ADHÉRENCE ÉGALE A 0,20.	
	MACHINE ordinaire.	MACHINE à rail central.	MACHINE ordinaire.	MACHINE à rail central.	MACHINE ordinaire.	MACHINE à rail central.
millim.	kilos.	kilos.	kilos.	kilos.	kilos.	kilos.
0	550	550	530	530	525	525
10	1.830	1.710	1.710	1.640	1.650	1.600
20	3.440	2.940	3.080	2.810	2.910	2.730
30	5.500	4.380	4.660	4.060	4.320	3.900
40	8.250	5.790	6.540	5.370	5.900	5.130
50	12.100	7.560	8.800	6.760	7.700	6.410
60	17.870	9.400	11.550	8.250	9.750	7.750
70	27.500	11.450	15.000	9.830	12.110	9.150
80	46.750	13.740	19.430	11.520	14.870	10.620
90	104.500	16.330	25.330	13.330	18.130	12.160
100	∞	19.250	33.600	15.260	22.050	13.780

TABLEAU N° 2 *donnant le rapport de l'effort* utile *de traction d'un train de* 100 *tonnes, sur diverses rampes et en supposant pour coefficient d'adhérence une valeur de* 0,10, *à l'effort de traction* total *nécessaire en employant :*

1° *La locomotive ordinaire à roues toutes adhérentes ;*

2° *La locomotive à roues horizontales exerçant sur un rail une pression égale à une fois et demie son poids ;*

3° *Le système funiculaire inventé par M. Agudio.*

INCLINAISONS.	MACHINE ORDINAIRE.	MACHINE A RAIL CENTRAL.	SYSTÈME AGUDIO.
millimètres.	kilos.	kilos.	kilos.
0	0.900	0.900	0.469
10	0.819	0.871	0.469
20	0.728	0.848	0.469
30	0.636	0.798	0.469
40	0.545	0.777	0.469
50	0.454	0.729	0.469
60	0.363	0.691	0.469
70	0.272	0.655	0.469
80	0.181	0.618	0.469
90	0.090	0.581	0.469
100	0.000	0.545	0.469

TABLEAU N° 3 *donnant le poids minimum que doit atteindre, avec l'adhérence de* 0,10 :

1° *La locomotive ordinaire à roues toutes adhérentes ;*

2° *La locomotive à rail central* (*avec* K = 1,5), *pour remorquer un train utile de* 100 *tonnes sur diverses rampes, comparé avec le poids qui doit résulter, pour chaque système, de l'étendue de la surface de chauffe correspondante, calculée pour différentes vitesses.*

INCLINAISONS.	Poids nécessaire en raison de l'adhérence de la locomotive		VITESSES en kilomètres à l'heure.	Travail total correspondant en chevaux de la locomotive		Poids nécessaire pour suffire à la production de vapeur de la	
	ordinaire.	à rail central (K = 1,5.)		ordinaire.	à rail central. (K = 1,5.)	Locomotive ordinaire. (Système Petiet.) à raison de 120 kilos par force de cheval.	Locomotive à rail central, (K = 1,5) à raison de 112 kilos par force de chev.
millim	kilos.	kilos.	kilom.	chevaux.	chevaux.	kilos.	kilos.
0	5.000	2.000	72	146.66	146.66	16.352	16.352
10	16.440	6.250	30	203.33	190.00	24.400	21.280
20	31.250	10.860	20	254.80	217.77	30.576	24.390
30	50.000	15.900	15	305.50	243.33	36.660	27.252
40	75.000	21.430	12	366.60	257.30	43.992	28.617
50	110.000	27.500	10	448.10	280.00	53.772	31.360
60	162.500	34.730	10	659.40	346.86	78.128	38.852
70	250.000	41.660	10	1.014.75	422.50	121.680	47.320
80	425.000	50.000	10	1.725.00	482.80	207.000	54.073
90	950.000	59.440	»	»	»	»	»
100	∞	70.000	»	»	»	»	»

TABLEAU N° 4 *donnant le poids, l'effort de traction et le travail en chevaux calculés pour l'adhérence de* 0,10, *et avec un train utile de* 100 *tonnes :*

1° *Pour la locomotive ordinaire à roues toutes adhérentes ;*

2° *Pour la locomotive à rail central avec* K = 1,15 *aux vitesses respectives de* 20,412 *et* 10,206 *mètres à l'heure, vitesses avec lesquelles chacune de ces machines utilise complétement, sur les diverses rampes, l'adhérence et la puissance de vaporisation dont elle dispose, en vertu de son poids compté à raison de* 120 *et de* 112 *kilos, respectivement, par force de cheval développée.*

INCLINAISONS.	LOCOMOTIVE ORDINAIRE marchant à la vitesse normale de 20,412 mètres à l'heure, et pesant 120 kilos par force de cheval développée.			LOCOMOTIVE A RAIL CENTRAL marchant à la vitesse de 10,206 mètres à l'heure, et pesant 112 kilos par force de cheval développée (K = 1,15).		
	POIDS.	Effort de traction.	Travail en chevaux.	POIDS.	Effort de traction.	Travail en chevaux.
Millimètres.	kilos.	kilos.	chevaux.	kilos.	kilos.	chevaux.
0	5.000	550	41.580	2.330	550	24.56
10	16.440	1.833	138.348	7.310	1.730	48.96
20	31.250	3.440	260.064	12.840	3.032	85.80
30	50.000	5.500	415.800	19.460	4.474	126.61
40	75.000	8.250	623.700	25.710	6.081	172.09
50	110.000	12.100	914.760	33.330	7.884	223.11
60	162.500	17.870	1.350.972	41.930	9.917	286.65
70	250.000	27.500	2.079.000	51.710	12.230	346.10
80	425.000	46.750	3.534.300	63.030	14.890	421.38
90	950.000	104. 5	7.900.200	76.000	17.974	508.66
100	∞	∞	∞	91.300	21.158	598.77

TABLEAU N° 5 *donnant le travail en chevaux-vapeur nécessaire pour remorquer sur diverses pentes un train utile de* 100 *tonnes* (*l'adhérence étant de* 0,10), *par les machines ordinaires et à rail central et par le locomoteur Agudio.*

INCLINAISONS.	A LA VITESSE de 20.412 mètres à l'heure.		A LA VITESSE de 10.206 mètres à l'heure.	
	Avec la machine ordinaire.	Avec le locomoteur Agudio.	Avec la locomotive à rail central (K = 1,15).	Avec le locomoteur Agudio.
Millimètres.	chevaux.	chevaux.	chevaux.	chevaux.
0	41.580	80.506	24.56	40.253
10	138.348	237.386	48.96	118.733
20	260.064	390.093	85.80	195.046
30	415.800	542.053	126.61	271.026
40	623.700	680.666	172.09	340.333
50	914.760	850.506	223.11	425.253
60	1.350.972	1.004.720	280.65	502.360
70	2.079.000	1.155.920	346.10	577.960
80	3.534.300	1.309.386	421.38	654.693
90	7.900.200	1.508.213	508.66	754.106
100	∞	1.615.946	598.77	807.973

NOTES A L'APPUI.

NOTE A.

La limite de la pression à appliquer aux roues horizontales qui agissent sur le rail central ne peut être déterminée d'après les bases admises pour les roues des machines ordinaires. Pour ces dernières, c'est la résistance des rails à l'écrasement qui seule détermine le maximum de pression. En Angleterre, on admet couramment 15 tonnes par essieu. En France, après avoir dépassé 14 et 15 tonnes par essieu, soit 7 tonnes et demie par roue, il y a eu une réaction, et on tend aujourd'hui à ne pas dépasser 12 tonnes, soit 6 tonnes par roue. Par une coïncidence du reste fort naturelle, cette réaction a été contemporaine d'une amélioration fort notable des procédés de fabrication et de la durée des rails. Il n'est pas douteux que, sur la plupart des grandes lignes, les rails résisteraient aujourd'hui à des pressions plus fortes, et l'ingénieur en chef du chemin de fer du Nord déclarait à la Société des ingénieurs civils, dans une discussion récente, qu'il verrait sans appréhension pour la durée des rails une augmentation de poids dans le matériel.

Les conditions de service du rail central ne sont pas du tout comparables à celles des rails extérieurs. Laissant de côté celles de ces différences qui n'ont trait qu'au mode de pose, la différence essentielle au point de vue de la durée est que le rail central n'éprouve pas de flexion sous la charge, puisque les pressions des roues horizontales se détruisent deux à deux. Il en résulte d'abord que les chances de rupture pour ce rail sont considérablement atténuées, point important pour la sécurité. On voit de plus que les chances de conservation en sont singulièrement favorisées. On sait en effet que les rails ne périssent d'une manière générale que par la dessoudure des *mises* dont sont formés leurs *champignons*. Or il est évident que les flexions et redressements alternatifs, combinés avec une pression normale, sont la cause déterminante de ces dessoudures. Il faut remarquer aussi que les rails ordinaires des voies ont des surfaces de roulement fortement bombées, disposition nécessitée par la conicité des roues et les mouvements de lacet qu'occasionnerait une surface de roulement par trop plate. Pour le rail central, au contraire, les roues horizontales étant cylindriques, les surfaces de roulement peuvent être planes et les points de contact seront ainsi multipliés.

Il est difficile d'évaluer l'influence que ces diverses circonstances pourront avoir sur la durée du rail central et sur la limite de pression qu'il

pourra supporter sans écrasement et sans exfoliation. Mais il n'est pas douteux que la pression des roues horizontales ne puisse dépasser notablement celle des roues verticales. Il est permis de croire que 10 tonnes de pression par roue horizontale ne serait pas une limite exagérée. Au surplus, l'emploi de l'acier Bessemer, qui ne donne pas lieu pour le rail central aux mêmes objections de dépense que pour les rails extérieurs, puisqu'il est unique et ne doit être posé que sur les parties assez rares où les rampes dépasseront 40 $^{m}/_{m}$, permettrait sans danger d'atteindre cette limite.

NOTE B.

L'exécution des chemins de fer *d'intérêt local* est en ce moment la question à l'ordre du jour. La grande difficulté qui rend problématique l'exécution immédiate de ce réseau, d'une importance cependant si grande et si actuelle, est le prix d'établissement de ces lignes. L'opinion répandue est qu'on peut construire la plupart des chemins d'intérêt local au prix de 100,000 francs le kilomètre. Malgré toute la libéralité que les préfets pourront introduire dans les cahiers des charges, il y aura beaucoup à rabattre sur cette opinion, ainsi que l'a prouvé une récente brochure de M. A. Férot, *les Chemins de fer en* 1865.

Un moyen de réduire les dépenses a été proposé depuis plusieurs années, dans un remarquable travail de MM. Molinos et Pronnier. Il consiste à affecter les routes départementales à l'exécution de ces lignes, en consacrant une partie de la chaussée à l'établissement du chemin de fer, et réservant le surplus à la circulation locale.

Dans quelques cas, ce système serait suffisant pour réduire le capital à débourser au chiffre dont les revenus nets du chemin pourraient représenter l'intérêt. Mais, la plupart du temps, les pentes des routes départementales dépassent l'inclinaison de 30 à 35 millimètres que l'on peut considérer comme la limite où la locomotive ordinaire cesse d'être applicable, de même que les courbes y présentent des rayons inadmissibles. On ne pourrait donc utiliser les routes départementales qu'en effectuant sur un grand nombre de points des rectifications très-coûteuses ; d'ailleurs le poids des locomotives qu'il faudrait adopter pour rester dans les limites de rampes dont nous venons de parler entraînerait la reconstruction de la plupart des ouvrages d'art.

La machine à rail central pourra seule permettre de franchir sans rectification les passages les plus difficiles, et, grâce à sa légèreté, de conserver la plupart des ouvrages d'art, ou tout au moins de ne leur appliquer que des travaux de consolidation peu importants. Elle se présente

donc comme une solution aussi parfaite que possible de cette importante question, et nous sommes convaincu que l'établissement du chemin de fer sur la route du Mont-Cenis lèvera à cet égard tous les doutes.

L'adoption d'une voie plus étroite que la voie de $1^m,45$ généralement appliquée en France a été proposée comme moyen de réaliser des économies sur la construction. Cette mesure ne sera pas obligatoire pour des chemins de fer construits sur des routes, à moins qu'on ne recule devant la dépense d'élargissement qui sera, dans certains cas, nécessaire pour réserver un passage suffisant au trafic local. L'inconvénient de la largeur de voie réduite est la nécessité du transbordement aux points de jonction avec les grandes lignes. Cependant l'exemple du chemin de fer de Mondalazac à Salles-la-Source, établi par le chemin de fer d'Orléans avec une voie réduite, montre que la dépense et les inconvénients du transbordement sont faibles, et ne peuvent être mis en balance avec l'économie résultant de la réduction de la largeur de voie. Le transbordement est également pratiqué entre le chemin de fer du Midi d'une part, et ceux d'Orléans et de la Méditerranée d'autre part, par suite des différences d'écartement d'essieux qui ne permettaient pas de manœuvrer les wagons du Midi sur les plaques tournantes des autres lignes, et il ne paraît pas que cette obligation soit très-onéreuse ni très-gênante. Les adversaires les plus déterminés de la voie réduite n'en évaluent pas les frais à plus de 60 centimes par tonne. Ils se sont réduits pour certaines classes de marchandises à 15 ou 16 centimes.

NOTE C.

Comme machine susceptible de développer à très-faible vitesse un effort considérable de traction, la locomotive à rail central paraît devoir convenir parfaitement au touage sur les canaux. A la vitesse de 1 mètre par seconde, une péniche ordinaire pouvant transporter 100 tonnes exige un effort de 300 kilos. Un train de 10 péniches représentant 1,000 tonnes de poids utile exige donc un effort de 3,000 kilos.

La formule

$$V = \frac{75}{n\,(f + 10)\,(1 + K)}$$

donne, en faisant $V = 1$, $f = 100$, $n = 112$,

$$K = 4{,}7.$$

D'autre part, la formule

$$R - r = M\,(1 + K)\,f$$

dans laquelle on fait

$$R - r = 3{,}000^k,\ K = 4{,}7,\ f = 100,$$

donne

$$M = 5{,}260^k,$$

et par suite

$$P = MK = 24{,}740^k.$$

Une machine pesant 5,260 kilos avec ses approvisionnements et pouvant développer sur un rail central une pression totale de 24,740 kilos, soit environ 6,200 kilos par roue, pourrait faire le service dont il s'agit, dans des conditions évidemment très-économiques.

Le calcul que nous venons de faire suppose une adhérence de 0,10 et la machine circulant sur des rails; mais il est évident que l'on pourrait supprimer les rails extérieurs, car des roues chargées d'une tonne et demie seulement peuvent très-bien circuler sur un chemin de halage, moyennant une largeur de jante un peu plus forte : l'adhérence des roues verticales se trouvant par là considérablement augmentée, on pourrait réduire sensiblement la pression sur le rail central. On arriverait donc à la solution très-simple d'une locomotive pour route, se touant sur un rail unique, qui pourrait être fort léger, et certainement moins coûteux et plus durable surtout que la chaîne de touage dont on fait usage sur les rivières, et qui a été proposée récemment pour les canaux.

NOTE D.

Des réclamations relatives à la priorité de l'invention du rail central ayant été soulevées dans ces derniers temps, nous croyons devoir présenter un historique de la question à ce point de vue.

Le premier brevet pris pour cette application remonte à trente-cinq ans : il a été accordé le 7 *septembre* 1830 à MM. *C. B. Vignoles*, célèbre ingénieur anglais [1], et Ericsson, ingénieur suédois [2].

Le 15 *octobre* 1840, un nouveau brevet relatif à cette application fut pris par *Henri Pinkus*, inventeur anglais.

Ce n'est que le 18 *décembre* 1843 que *M. le baron Séguier*, dans une communication à l'Académie des sciences, proposa, comme moyen d'éviter les déraillements, l'emploi du rail central, appliqué *même*, ou pour mieux

1. Le même dont le nom a été donné au rail à patin, qu'il a introduit le premier sur le continent, en Allemagne et en Suisse.

2. Le même qui a construit les premiers *monitors* et les machines à air chaud.

dire *surtout*, aux grandes lignes à faibles pentes et, partant, à fortes vitesses.

Le 5 *décembre* 1846, un brevet fut pris par *M. le baron Séguier* pour ce système dont il se disait, évidemment de très-bonne foi, l'inventeur, et dont il a été, dans tous les cas, le promoteur très-actif.

Le 13 *juillet* 1847, un brevet fut pris en Angleterre par *A. V. Newton*, ayant trait au rail central.

Ce n'est qu'en 1863 (le 20 *janvier* et le 16 *décembre*) qu'ont été pris les deux brevets de *M. Fell* sous le titre de *Perfectionnements aux machines locomotives* et *aux voitures de chemins de fer*. Dans ces deux brevets, M. Fell ne s'est nullement proposé de s'approprier l'invention du rail central qu'il pouvait, à bon droit, considérer comme tombée dans le domaine public, mais simplement les procédés tout à la fois ingénieux et pratiques par lesquels il a réussi à appliquer d'une manière satisfaisante le principe de l'adhérence supplémentaire.

Indépendamment de l'énergie, de la persévérance et du sens pratique très-droit dont il a fait preuve dans la longue suite d'essais et d'expériences dont il est l'auteur, son principal mérite est, à nos yeux, d'avoir compris, ce que la théorie justifie entièrement, que les machines à adhérence supplémentaire ne sont applicables qu'aux fortes rampes et aux faibles vitesses, parce qu'elles permettent de développer dans ces conditions des efforts de traction considérables sous un poids très-réduit.

Personne n'ignore au surplus que ces avantages ont été prévus et indiqués par un haut personnage, dont les vues ne sont pas moins étendues dans les questions de ce genre que dans les questions politiques, et dont le bienveillant patronage vient d'assurer une grande application aux procédés mécaniques dont M. Fell est l'inventeur.

NOTE E.

L'effort moyen de traction développé par la machine du Semmering (modifiée récemment par M. Desgrange) est de 5,136 kilos, la vitesse moyenne est de 15 kilomètres à l'heure.

D'après les comptes rendus de M. Desgrange pour l'année 1863, les frais de traction s'élèvent à 2 fr. 16 par kilomètre de train, attelé d'une machine.

On peut conclure de ces données la dépense par heure et par force de cheval.

En effet, le travail mécanique est par seconde de $\frac{5,136^k \times 15,000}{3,600 \times 75}$, soit 284 chevaux.

Le parcours en une heure étant de 15 kilomètres, la dépense est, pendant ce temps, de 2 fr. 16 × 15, soit 32 fr. 40.

La dépense par cheval de force et par heure serait donc $\frac{32^f,40}{284}$; mais il faut tenir compte de ce qu'à la descente les machines ne travaillent pas, ce qui double la dépense par force de cheval effectivement produite. On arrive donc à l'expression $\frac{32^f,40 \times 2}{284} = 0^f,23$.

Sur la ligne de Giovi, l'effort de traction est de 2,570 kilos par machine simple, et la vitesse de 24 kilomètres. Les frais de traction sont de 1 fr. 36 par kilomètre et par machine.

Le nombre de chevaux par machine est $\frac{2,570 \times 24,000}{3,600 \times 75} = 225$.

La dépense par cheval sera donc, en tenant compte du travail à vide à la descente $\frac{1^f,36 \times 24 \times 2}{225} = 0^f,29^c$.

On voit que les chiffres trouvés pour le coût du cheval-vapeur sur ces deux lignes diffèrent peu, et la différence s'explique par le prix plus élevé du combustible (55 fr. la tonne) sur les lignes du nord de l'Italie. En Autriche, le combustible est un lignite de mauvaise qualité, mais coûtant très-peu (22 fr. la tonne).

On peut donc conclure de ces résultats que la dépense de traction sur une ligne à forte pente où la valeur du combustible serait la moyenne de ces deux valeurs extrêmes, rapportée au cheval de travail mécanique, donnerait un chiffre à peu près moyen entre ceux que nous venons de trouver, soit 0 fr. 25 par force de cheval.

Admettant cette base, il est facile de vérifier qu'elle est en parfait accord avec la consommation de combustible que nous avons donnée comme résultant des expériences faites sur le Mont-Cenis.

En effet, le travail mécanique sur la pente de $77^m/_m$ a été de 160 chevaux, à la vitesse de 12 kilomètres à l'heure ; on aurait donc, en appelant x la dépense de traction par kilomètre :

$$\frac{x \times 12 \times 2}{160} = 0^f,25,$$

d'où l'on tire :

$$x = 1^f,20.$$

Rapportée à la ligne entière, la dépense de combustible résultant des expériences est de $9^k,15$ qui, à 40 fr. la tonne (prix maximum du coke à Saint-Michel), donnent $0^f,36$. Déduisant ce nombre de 1 fr. 20, il reste

0 fr. 84 pour les dépenses de *conduite*, *graissage*, *entretien* et *réparation*, marge plus que suffisante, car les dépenses correspondantes sur la ligne de Giovi ne s'élèvent qu'à 0 fr. 57 et sur les lignes de chemins de fer français ne dépassent pas 45 à 50 centimes.

NOTE F.

Le rail central donne à la fois les moyens de satisfaire aux trois conditions principales de la traction sur les lignes de montagne, conditions qui sont les suivantes :

1° Accroissement de la puissance de la machine, combiné avec la réduction de son poids ;

2° Garantie de sécurité contre les ruptures d'attelage et les déraillements, accidents les plus fréquents et les plus redoutables sur les profils accidentés ;

3° Réduction considérable de la résistance due au passage dans les courbes, et moyen d'approprier facilement tout matériel donné à la circulation dans les courbes les plus roides.

Les expériences ont démontré la réalisation complète de ce programme. Il n'est pas inutile d'insister sur les dispositions qui ont permis de satisfaire à la troisième de ces conditions.

En adoptant des galets de friction à axe vertical sur tous les véhicules, galets disposés deux à deux de part et d'autre du rail central, et au droit des roues d'avant et d'arrière, M. Fell a donné le moyen pratique d'approprier à la circulation dans les courbes les plus roides le matériel ordinaire des chemins de fer.

On sait, en effet, que la résistance au passage des courbes se compose de trois termes :

1° Frottement des boudins des roues extérieures contre le rail extérieur de la courbe ;

2° Frottement à la surface des roues, dû à l'inégalité des chemins parcourus sur les deux rails, intérieur et extérieur, par les roues calées sur un même essieu, ou, sur un même rail, par les roues accouplées ;

3° Frottement à la surface des roues dans un sens perpendiculaire à l'axe de la voie, occasionné par le changement continuel de direction du véhicule qui se trouve contraint à pivoter sur lui-même.

De ces trois termes, le dernier est, comme on sait, peu important, et peut être négligé. La convergence des essieux peut seul le faire disparaître. Mais cette convergence, qui fait disparaître aussi le deuxième terme, n'a qu'une faible action sur le premier, qui est de beaucoup le plus important, tandis que le rail central le fait disparaître à peu près com-

plétement. En effet, le frottement des boudins contre les rails se trouve alors remplacé par le roulement des galets, c'est-à-dire que la résistance qui en résulte est réduite des 19/20es au moins. Mais ceci suppose que, malgré l'écartement des essieux, on pourra toujours éviter le contact des boudins contre les bords des rails. Il est facile de se rendre compte qu'avec des écartements d'essieux beaucoup plus forts que ceux de la machine n° 2 (qui est de 2^{m},092), ce résultat pourra toujours être atteint.

Considérons une machine dont les roues extrêmes toucheraient à la fois les faces intérieures des rails d'une courbe. Connaissant l'écartement des essieux, le diamètre des roues, et le rayon de la courbe, il est facile de déterminer l'écartement intérieur à donner aux rails pour que le contact se produise, comme dans la figure n° 1, intérieurement et extérieurement, et en comparant cet écartement à la longueur de la voie généralement adoptée, on verra en ressortir le fait annoncé.

Soit A D (fig. 1) la projection horizontale de l'axe d'un des essieux extrêmes, et A le milieu de cet essieu. Soit F la projection horizontale du point où a lieu le contact entre le rail et la courbe, et F D la trace d'un plan vertical perpendiculaire à l'essieu et passant par ce point, soit F D = a; appelons de même R le rayon O A de la courbe, $2d$ l'écartement D D' des gorges des bandages, $2c$ l'écartement A C des essieux extrêmes.

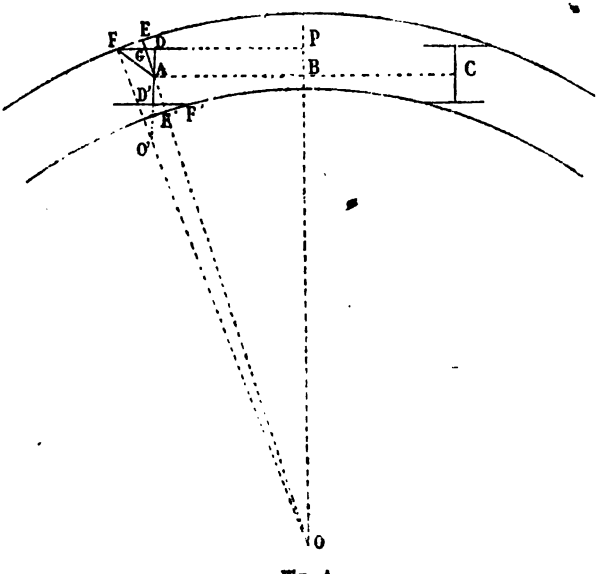


Fig. 1.

Prolongeons le rayon A O jusqu'à la rencontre en E avec le rail extérieur, la longueur A E sera le demi-écartement des rails que nous cherchons à déterminer, car la longueur D' F' étant sensiblement égale à F D, on aura évidemment A E' = A E.

Les deux triangles EFG et GDA, rectangles l'un en E, l'autre en D et ayant l'angle en G commun, sont semblables et donnent : EG : GD :: FG : GA, d'où $EG = \frac{GD \times FG}{GA}$. Or, 1° dans les triangles semblables GDA et ABO

$$GD : AD :: AB : BO \text{ ou } GD : d :: c : \sqrt{R^2 - c^2},$$

d'où $$GD = \frac{dc}{\sqrt{R^2 - c^2}};$$

2° Par suite $$FG = a - \frac{dc}{\sqrt{R^2 - c^2}};$$

Enfin 3° $$GA = \sqrt{d^2 + \frac{c^2 d^2}{R^2 - c^2}} = \frac{Rd}{\sqrt{R^2 - c^2}}.$$

Substituant ces trois expressions dans la valeur de EG, on obtient :

$$EG = \frac{\frac{dc}{\sqrt{R^2 - c^2}} \times \left(a - \frac{dc}{\sqrt{R^2 - c^2}}\right)}{\frac{Rd}{\sqrt{R^2 - c^2}}}$$

ce qui se réduit à $EG = \frac{ca}{R} - \frac{dc^2}{R\sqrt{R^2 - c^2}}$.

Mais

$$AE = AG + EG = \frac{Rd}{\sqrt{R^2 - c^2}} + \frac{ca}{R} - \frac{dc^2}{R\sqrt{R^2 - c^2}} = \frac{ca}{R} + \frac{d}{R}\sqrt{R^2 - c^2}.$$

Le second terme de cette expression est toujours plus petit que d, dont il diffère d'ailleurs très-peu. On peut donc prendre pour 2 AE la valeur $\frac{2ca}{R} + 2d$, comme étant un peu plus grande que 2 AE, mais de très-peu. Reste à déterminer la longueur $a = FD$, pour que le tout soit connu dans cette expression (car le point F étant situé sur la gorge même du

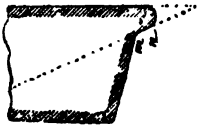


Fig. 2.

bandage, 2 d ou 2 AD peut être pris comme égal à l'écartement des bandages à la gorge, sans erreur sensible). En F (fig. 1), a lieu le contact de la surface du rail avec celle du boudin comprise dans la zone *conique*

m n. (fig. 2). (On peut se rendre compte par une épure que, tant que le rayon des courbes n'est pas inférieur à 100 mètres, le point de contact ne sort pas de cette région.) La surface du rail peut être considérée comme une surface de révolution dont l'axe est une verticale passant par le centre O de la courbe (fig. 1); celle du boudin a pour axe l'horizontale projetée en O'D et qui est l'axe même de l'essieu; on sait que dans ce genre de surface toutes les normales rencontrent l'axe de révolution; la normale au point F, qui est commune aux deux surfaces, rencontrera donc à la fois l'axe de l'essieu et la verticale O. Elle se projettera donc suivant une ligne FO, et son point de rencontre avec l'axe de l'essieu se projettera en O', de sorte que la distance du centre de la roue à ce point de rencontre sera égale à la ligne O'D. Or on a dans les deux triangles semblables O'DF et OFP, FD : O'D :: FP : OP, ou FD : O'D :: C : R, sans erreur sensible.

Considérons maintenant (fig. 3) le cercle de la roue passant par le point F et dont le centre est H; soit S le sommet du cône auquel appartient la zone conique *m n*, et μ l'angle SFH à la base du cône. Soit r le rayon HF qui est sensiblement égal au rayon de la roue. Si l'on mène dans le plan SHF, FK perpendiculaire à SF, cette ligne sera la normale au point F, et rencontrera l'axe de l'essieu au point K, et la ligne HK sera égale à la ligne O' D dans la fig. 2 tout à l'heure considérée. Or on a : $HK = \frac{HF}{tg\,\mu} = \frac{r}{tg\,\mu}$ à cause de l'égalité des angles en F et en K. Ainsi $O'D = \frac{r}{tg\,\mu}$. Substituant cette valeur dans la proportion précédemment obtenue, on obtient : F D ou $a = \frac{cr}{R\,tg\,\mu}$. Remplaçant a par sa valeur dans l'expression de 2 AE trouvée plus haut, on obtient définitivement $2\,AE = 2d + 2\frac{c^2}{R^2} \times \frac{r}{tg\,\mu}$.

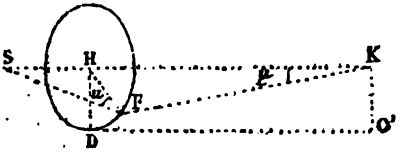


Fig. 3.

On prend ordinairement $tg\,\mu = \frac{1}{4}$,

on a alors : $$2\,AE = 2d + 8\frac{c^2}{R^2}r.$$

Le jeu $8\frac{c^2}{R^2}r$, qu'il faut donner à la voie pour permettre le libre pas-

sage des boudins, est donc indépendant de la largeur de voie et ne dépend que du rayon des roues, du rayon de la courbe, et de l'écartement des essieux.

Le jeu que l'on donne ordinairement est de $0^m,02$. Voyons quel écartement d'essieux il permettra de donner dans une courbe de 40 mètres de rayon avec des roues de 0,685 de diamètre, comme celles de la machine n° 2. Il suffira de résoudre, par rapport à c, l'équation

$$8\frac{c^2}{1600} \times 0^m,3425 = 0,02.$$

On trouve $c = 3^m,39$, ou $2c = 6^m,78$.

Ainsi le jeu ordinaire de la voie permettrait à une machine à écartement d'essieux de $6^m,78$ et à roues de $0^m,685$ de diamètre, *disposée comme l'indique la fig.* 2, dans les courbes de 40 mètres de rayon du Mont-Cenis, d'y circuler sans toucher les rails extérieurs. S'il y avait un essieu intermédiaire, le boudin de la roue *intérieure* de cet essieu viendrait toucher le rail intérieur pour un écartement bien inférieur à celui-là, et c'est réellement cette condition qui limiterait l'écartement des essieux extrêmes, s'il n'était pas toujours possible de supprimer le boudin des roues du milieu. En admettant cette suppression, et en s'imposant la condition que le bandage des roues intermédiaires ayant 0,14 de largeur ne cesse pas de porter sur le rail, dont la surface de roulement a 0,06, on arriverait à un écartement d'essieux extrêmes de $5^m,06$, plus que suffisant pour les machines à rail central les plus puissantes.

Mais il faut bien remarquer que ces résultats supposent que la machine se *centre* d'elle-même dans les courbes, c'est-à-dire s'y place de telle sorte que le rayon tracé perpendiculairement à son axe longitudinal le rencontre au milieu de sa longueur. Cette condition ne peut être remplie d'une manière générale, quels que soient les vitesses et les surhaussements, qu'en guidant la machine sur l'axe de la voie soit par le contact continuel des boudins des roues contre les rails, d'où résulterait une énorme frottement, soit par l'emploi des galets, roulant contre un rail central.

On voit donc que l'application des galets de friction aux véhicules, et des roues horizontales aux machines, donne le moyen de remplacer par un frottement de roulement toujours très-faible la résistance due au frottement des boudins extérieurs contre les rails. Cette résistance ne disparaît pas entièrement dans le système des essieux convergents (système Arnoux, Roy, etc.). Elle n'est qu'atténuée, le frottement des boudins se faisant en des points plus rapprochés de la verticale qui passe par le centre de la roue, ce qui diminue le bras de levier de ce frottement.

Reste le glissement dû à l'inégalité des chemins parcourus, glissement que les systèmes à essieux convergents font disparaître entièrement. Il

est aisé de voir que le système du rail central peut également s'en affranchir.

Il suffit, en effet : 1° de donner aux bandages une conicité telle que les circonférences de roulement maximum et minimum soient dans le rapport des longueurs des rails intérieur et extérieur des courbes les plus faibles ; 2° de donner à la demi-largeur de voie placée à *l'intérieur* de la courbe, par rapport au rail central, un supplément de largeur tel que le bandage des roues intérieures roule sur la circonférence minimum, si l'on est dans les courbes les plus roides, ou sur la circonférence convenable, si l'on est dans une courbe de rayon plus fort.

NOTE G.

Le capitaine Tyler a évalué à sept ou huit ans le délai nécessaire à l'achèvement du souterrain de Modane, sans tenir compte des pertes de temps que pourront amener les difficultés de l'aérage et de l'épuisement des eaux, et non compris, ajoute-t-il, le temps que pourra demander l'achèvement des travaux à exécuter aux abords du souterrain.

Cette dernière prévision a donné lieu à quelques observations : n'est-il pas évident, a-t-on dit, que l'on pourra prendre les mesures nécessaires pour que l'achèvement des travaux des abords coïncide avec celui du souterrain du Mont-Cenis?

On oublie, en répondant ainsi, que ces travaux des abords ne sont autres que l'exécution de 56 *kilomètres de ligne exceptionnellement difficile*, comprenant d'*immenses tranchées, plusieurs souterrains de 3 à 4 mille mètres, dans des terrains très-résistants ou perméables aux eaux* : à tel point que, si l'on calcule sur sept ou huit ans pour l'achèvement du grand souterrain, il ne serait que temps de se mettre en besogne dès à présent; qu'il y a, en un mot, sur la durée de l'exécution de ces travaux, un imprévu presque aussi grand que sur celle du souterrain principal. D'où suit évidemment la possibilité d'un mécompte et de retards dus à l'achèvement des abords.

Mais admettons qu'on puisse prévoir mathématiquement le moment auquel il faudrait commencer ces travaux pour aboutir précisément à la même date pour leur achèvement et pour l'exécution complète du grand souterrain. Il ne faut pas oublier que les travaux du souterrain sont conduits, en régie, par le gouvernement italien, et que ceux des abords regardent deux compagnies financières, le Victor-Emmanuel et les Lombards. Voilà quinze ans que l'on dit tous les ans à ces compagnies : « Le

souterrain sera achevé dans 5 ans [1].» Il est difficile que ces compagnies partagent la confiance inébranlable des agents du gouvernement italien, et que, même sous la pression des gouvernements dont elles dépendent, elles se décident à immobiliser un capital de 25 à 30 millions, dont la rémunération est subordonnée à un événement qu'elles sont, il faut le reconnaître, autorisées à considérer comme incertain. Évidemment elles ne commenceront, j'entends d'une manière sérieuse, leurs travaux, que le jour où il y aura pour elles certitude absolue, mathématique, de l'achèvement et de la mise en exploitation du souterrain. Il n'est pas probable que ce jour précède de beaucoup la rencontre des deux ateliers de mineurs encore séparés l'un de l'autre par l'énorme épaisseur de 7,500 mètres. Les réserves du capitaine Tyler sont donc fondées de tout point.

Mais il y a plus : en évaluant à sept ou huit ans le temps qui nous sépare encore de cette rencontre, on a fait abstraction du temps nécessaire à l'élargissement et au muraillement du souterrain, et l'on a été extrêmement large dans l'appréciation de la vitesse du percement. Nous nous proposons de présenter à cet égard quelques appréciations un peu plus rigoureuses.

L'ingénieur en chef du département de la Savoie, M. Conte, chargé de la surveillance des travaux du souterrain, a publié un travail dans lequel les épaisseurs des divers terrains que doit traverser le souterrain sont classées de la manière suivante, en partant de Modane :

1° 1,500 à 2,000 mètres de calcaire anthraciteux;
2° 400 à 600 mètres de quartz en roche;
3° 2,000 à 3,000 mètres de calcaire massif;
4° 7,000 à 8,000 mètres de calschiste.

En admettant que chaque atelier perce la moitié de la longueur, il y aura 6,110 mètres à percer du côté de Modane.

Le 30 juin dernier, il y avait 2,105 mètres de percés; restent donc 4,005 mètres qui se décomposent en :

500 mètres de quartz à 0m,75 par jour.	666 jours.
2,500 mètres calcaire massif à 1 mètre par jour.	2,500 —
1,005 mètres calschiste à 1m,50 par jour.	670 —
4,005 mètres	3,836 jours.

Soit 10 ans 186 jours. Si l'on ajoute 1 an 179 jours pour l'élargissement, le muraillement et la pose de la voie, on arrive à un total de 12 ans à compter du 30 juin 1865.

M. Conte, dans le rapport déjà cité, dit que la dureté du quartz est telle qu'elle donne lieu de douter de la possibilité de traverser cette roche.

1. Nous avons sous les yeux les plans lithographiés du premier projet de la ligne de Saint-Michel à Suze, daté de 1849. On y lit en grosses lettres : « LE SOUTERRAIN PEUT ÊTRE TERMINÉ EN CINQ ANS. »

Des mesures prises avec soin le 7 août dernier établissent que du 12 juin, date où on a rencontré le quartz, jusqu'au 7 août, on avait percé 14 mètres, ce qui donne une moyenne de 28 à 30 centimètres par jour. 0m,75 sont donc une estimation très-large de la vitesse du percement dans cette roche.

Pour les autres roches, il résulte des rapports officiels qu'on n'a jamais fait en six mois consécutifs plus de 1m,87 par jour, et pour douze mois, plus de 1m,50 dans les terrains les plus favorables. On ne peut donc compter plus de 1 mètre par jour dans le calcaire massif, roche très-dure; quant au calschiste, roche plus résistante que le calcaire anthraciteux, et qui doit être percée à une distance de 5,000 mètres de l'entrée du souterrain, au lieu de 2,000, distance actuelle, il n'est pas probable qu'on doive compter plus de 1m,50 comme vitesse d'avancement.

Nous répétons que nous laissons de côté les difficultés croissantes auxquelles donnera lieu l'aérage, et celles que l'on n'a pu prévoir. Nous nous contentons de rappeler que le front d'attaque est aujourd'hui à plus de 40 mètres au-dessus de l'entrée du côté de Modane, et que de nouvelles dispositions deviendront bientôt nécessaires, si l'on veut refouler d'une manière efficace les gaz méphitiques sur une hauteur aussi considérable[1].

NOTE H. — *Sur la comparaison de l'effet utile du système à rail central avec celui du système pneumatique.*

Un système, patronné par plusieurs ingénieurs très-éminents, est en ce moment l'objet d'études suivies en vue de la traversée des principaux passages des Alpes helvétiques. C'est le système pneumatique; il consiste à établir sur les versants des faîtes à franchir des tubes en maçonnerie dans lesquels on lancera, au moyen de machines à refouler l'air, une colonne d'air à une pression suffisante pour pousser devant elle le convoi, muni en tête d'un piston garnissant toute la section du tube, sauf un certain jeu nécessaire pour éviter les chocs contre les parois du tube.

Sans entrer dans l'examen détaillé de ce système, qui vient d'être décrit et apprécié dans un travail très-remarquable de M. Daigremont[2],

1. Nous apprenons que de nouvelles dépenses, évaluées à 300,000 francs, vont être faites pour l'installation de nouveaux appareils de ventilation, les premiers étant décidément insuffisants.

2. *Étude sur les chemins de fer atmosphériques.* (Turin, Civelli, 1865).

directeur des travaux et de l'entretien des chemins de fer de la Haute-Italie (société des Lombards), et qui exige l'emploi de machines soufflantes de 3 à 4,000 chevaux de force, machines dont il n'existe aucun précédent, nous nous bornerons à comparer l'effet utile attribué au système par ses partisans (évaluation qui ne repose sur aucune expérience préliminaire) avec l'effet utile que nous avons déterminé pour le système à rail central, comme résultat des expériences de M. Fell.

Nous trouvons, page 57 du mémoire de M. Daigremont, un calcul établi dans l'hypothèse d'un tube de 12,500 mètres de longueur, à l'inclinaison de $0^m,080$ par mètre, d'un jeu de 0,05 entre le piston et les parois, et d'un poids de 200 tonnes pour le train, et d'où résulte un effet utile de 42 °/₀.

Si l'on compare ce résultat avec ceux du tableau n° 2 (page 54), tableau basé, nous le répétons, sur des faits d'expérience, nous trouvons que, pour cette même pente de $0^m,080$ par mètre, l'effet utile du système à rail central s'élève à 62 °/₀ environ, avec une adhérence de 0,10 seulement.

Nous nous bornons à cette comparaison, en faisant remarquer toutefois que l'hypothèse d'un jeu de 5 centimètres seulement entre le piston et le tube paraît excessivement favorable. Il est difficile, en effet, d'admettre que l'usure des bandages et des rails, les déplacements de la voie, l'élasticité et les dislocations d'un piston qui n'a pas moins de $4^m,60$ de diamètre, enfin les déformations inévitables d'un tube en maçonnerie établi à fleur du sol et exposé aux variations atmosphériques, aux accidents de toutes sortes que comporte l'altitude de 2,000 à 2,500 mètres au-dessus du niveau de la mer, ne viennent pas à altérer sensiblement le jeu primitivement établi et à introduire dans le calcul un élément qui en détruirait toute l'économie, nous voulons dire le frottement et les chocs du piston contre les parois nécessairement fort rugueuses d'un tube en maçonnerie d'une aussi grande dimension.

LÉGENDE DE LA MACHINE.

(Planche 54.)

a, a, a, a roues horizontales.

b, b, b... ressorts en spirale pressant sur le cadre mobile *f* qui porte les boîtes à graisse des roues horizontales.

c roue dentée calée sur l'arbre *d*, et qui reçoit son mouvement d'une vis sans fin dont la manivelle est à portée du mécanicien, et qui n'est pas représentée pour éviter la confusion des lignes.

d arbre portant deux vis à filets contraires et dont la rotation, dans des écrous portés par les deux pièces *g*, produit le rapprochement de ces pièces et par suite la tension des ressorts.

qq entretoises servant de guides aux bâtis mobiles *ff*.

ff bâtis mobiles le long des entretoises *q q*, et portant les boîtes à graisse des roues horizontales.

gg poutres en acier pouvant presser les ressorts *b, b, b*.

h arbre horizontal à mouvement alternatif, et qui reçoit son mouvement du prolongement *l, l* des tiges de pistons.

kk manivelles calées sur l'arbre *h* et recevant de cet arbre un mouvement alternatif.

ll prolongement des tiges de piston.

mm fausses bielles donnant un mouvement de va-et-vient aux tiges *nn*.

rr supports des tiges *nn*.

nn tiges à mouvement de va-et-vient donnant leur mouvement aux bielles *pp*.

pp bielles à fourches transmettant aux manivelles des roues motrices verticales un mouvement de rotation identique à celui des roues horizontales.

ANALYSE

DE LA

Note sur l'outillage et les procédés d'enrichissement des minerais de MM. Huet et Geyler.

PAR M. CHARLES GOSCHLER.

MM. Huet et Geyler ont publié dans le 1er cahier de 1865 des *Mémoires et Comptes rendus* des travaux de la Société la première partie d'une étude sur *l'outillage et les procédés d'enrichissement des minerais.*

Ils viennent de remettre à la Société la seconde partie de leur travail.

Chargé par M. le Président de vous en faire l'analyse, permettez-moi, Messieurs, d'arrêter, pendant quelques instants, votre attention sur cette étude qui, toute revêtue qu'elle soit d'un caractère très-spécial, de l'aveu même de ses trop modestes auteurs, ne traite pas moins d'un problème économique des plus intéressants, si l'on veut bien envisager la question dans quelques-uns de ses développements.

Je vais essayer de vous le démontrer; pour cela je crois avoir besoin de faire précéder ma démonstration de quelques considérations générales qui, au premier abord peut-être, vous paraîtront étrangères à l'objet qui nous occupe, mais qui s'y rattachent néanmoins d'une manière très-intime.

L'accroissement constant de la consommation des métaux de toutes classes, depuis le platine, l'or, l'argent, le cuivre, etc., etc., jusqu'au fer, est un fait économique bien connu de tous les membres de la Société, et qu'il suffit d'indiquer ici.

Grâce aux perfectionnements introduits dans l'art d'extraire les métaux, résultant de l'application intelligente des notions de la chimie ou de l'emploi des agents puissants dont dispose l'art des constructions mécaniques, la métallurgie reprend, depuis quelques années, le rang qu'elle avait perdu en abandonnant à la routine la direction des méthodes de transformation que la matière, livrée par la nature, doit subir pour passer de l'état brut à celui de métal ouvré, utilisable.

Mais si la métallurgie a surmonté les difficultés qui encombraient sa

voie, l'art d'extraire les minerais et de les rendre propres à subir *avantageusement* les opérations de la fabrication des métaux, la *préparation mécanique des minerais*, cet art qui consiste à condenser, sous un volume réduit, la matière utile disséminée dans sa gangue, ou à séparer les uns des autres des minerais de diverses natures qui exigent des traitements métallurgiques différents; cet art, disons-nous, est resté longtemps stationnaire, abandonné aux soins plus ou moins intelligents des ouvriers ou de contre-maîtres routiniers, chargés par les propriétaires de tirer, du produit de leurs mines, le parti le moins désavantageux.

L'importance de cette question n'a certes pas échappé aux hommes de science, et l'étude de la préparation des minerais a souvent fixé leur attention. Il suffit, à l'appui de cette assertion, de citer les mémoires remarquables disséminés dans le *Journal* et les *Annales des mines* et les noms de leurs auteurs, MM. Héron de Villefosse, de Hennezel, Rivot, etc., etc.; mais jusqu'ici les travaux des ingénieurs avaient eu plutôt en vue la description d'un procédé particulier à la nature spéciale d'un minerai, la monographie d'une méthode locale, qu'une étude embrassant dans son ensemble les méthodes générales et les appareils applicables aux différents cas de la pratique.

Ce travail, aussi intéressant que difficile, est entrepris par nos collègues, MM. Huet et Geyler, qui, avec l'autorité que leur donne l'expérience des faits, l'étude raisonnée des méthodes, croient être en mesure de pouvoir dire aux industriels : étant donné tel minerai, quelle qu'en soit la composition, voici les appareils à employer et la marche à suivre pour en tirer le meilleur parti.

Ceux des membres de la Société qui se sont trouvés en face d'un semblable problème reconnaîtront avec nous que la solution en est difficile; Ils savent encore que le problème se complique de considérations économiques très-diverses, la plupart du temps en état d'antagonisme; aussi reconnaîtront-ils avec nous que les auteurs envisagent sainement la question posée par eux en ces termes :

« La teneur qui fixe la limite de l'enrichissement est une variable im-
« possible à déterminer *a priori*, elle dépend, en effet, de la nature du
« minerai, de sa composition simple ou plus ou moins complexe, de la
« valeur du métal principal, et quelquefois aussi de la teneur en ar-
« gent ou or de l'un des éléments composants, du prix de la main
« d'œuvre, etc., etc., etc., et enfin de la distance de la laverie au lieu de
« fusion.

« Plus on enrichira, moins le métal à livrer à la fonderie qui doit l'éla-
« borer sera grevé du prix de ce transport, et plus les frais de réduction
« seront diminués; mais, par contre, la laverie à édifier devant être
« plus complète, elle nécessitera une mise de fonds plus importante, et la

« main-d'œuvre croîtra aussi bien que les déchets, la consommation d'eau
« et la puissance motrice.

« Comme on le voit, il y a donc à tenir compte d'une foule de considé-
« rations techniques et économiques, variables dans chaque centre de
« production et pour chaque gîte en particulier, que l'ingénieur doit
« connaître, afin de les comparer et de les combiner entre elles. Ici,
« il sera conduit à enrichir peu pour éviter la main-d'œuvre et les
« déchets, tandis que là il lui sera plus avantageux de concentrer beau-
« coup, afin d'isoler les matières stériles dont le transport eût été oné-
« reux. En un mot, disons qu'administrateur et ingénieur tout à la fois,
« il doit, usant de son discernement et de son expérience, après une mi-
« nutieuse comparaison de tous les éléments du problème, savoir déter-
« miner un degré d'enrichissement tel, qu'il donnera un minimum pour
« l'ensemble des dépenses, et un maximum pour celui des bénéfices. »

Pour fixer vos idées, Messieurs, sur la question qui nous occupe, veuillez, je vous prie, m'accompagner un instant, par la pensée, dans une mine métallique en exploitation.

A de très-rares exceptions près, les mines de ce genre ne se rencontrent pas à ciel ouvert. L'homme doit presque toujours fouiller le sol à des profondeurs souvent considérables, pour en arracher à grand'peine la matière utilisable.

Nous pénétrons dans l'intérieur du gîte métallifère, soit par une galerie débouchant sur le flanc de la montagne qui recèle le minerai, soit par un puits muni d'échelles fixes ou mobiles. Après un parcours plus ou moins long dans les galeries de roulage ou de ventilation, nous parvenons au chantier d'abatage. C'est généralement une excavation occupée par un ou plusieurs piqueurs armés, qui de la pioche, qui du pic, qui du fleuret à mine, détachant du filon ou de la masse le minerai cherché.

Vous remarquerez, Messieurs, que nous nous trouvons en présence d'un minerai qui n'est pas toujours réparti uniformément ou franchement isolé de la masse qui l'environne. Le *toit* et le *mur* du gîte sont souvent rapprochés à un point tel, que le mineur doit employer toute sa sagacité, toute son intelligence pour ne pas perdre la trace de la veine; la matière industriellement utilisable est, dans la plupart des cas, disséminée dans la roche qui lui sert de véhicule en rognons, en nodules, en grains, en poussière même à peine visible à l'œil peu exercé.

Effectuant une véritable chasse au minerai, le piqueur est donc obligé d'abattre tout ce qui se présente devant lui. Matière riche, pauvre ou stérile, tout vient s'amonceler sur le sol. A la lueur incertaine de sa

lampe, le mineur opère là un premier triage, un premier classement séparant du produit de l'abatage la partie stérile qui s'utilise dans la mine même, pour remblayer les excavations résultant de l'extraction de la masse métallifère

A la suite de ce premier triage, les matières mises à part, riches ou pauvres, sont brouettées ou wagonnées, et amenées au jour. C'est là qu'elles subissent les opérations d'*enrichissement*, qui consistent à diviser la matière en fragments de plus en plus petits, et à la ramener par une série de manipulations très-délicates à la teneur qui lui permet de subir avantageusement les opérations de la fonderie.

L'ensemble de ces opérations d'enrichissement constitue la préparation mécanique du minerai, art très-intéressant, comme vous le voyez, Messieurs, mais aussi complexe qu'on peut l'imaginer, car il s'applique à la manipulation économique de masses très-considérables, de matières possédant une valeur intrinsèque souvent très-minime et qu'il s'agit de ramener à un état industriel pratique.

La besogne sera désormais simplifiée, grâce aux travaux de nos collègues qui ont entrepris la description des types d'appareils applicables à la préparation mécanique des minerais, et que nous allons examiner avec eux.

Dans la première partie de leur étude, les auteurs, après avoir rappelé en quelques mots les errements de l'ancienne méthode, passent immédiatement à la description de la méthode nouvelle dans sa généralité. Puis, pénétrant dans le vif de la question, ils exposent les différentes phases que la matière métallique doit parcourir, les divers états qu'elle prend à travers toutes les manipulations qu'elle subit, se présentant sous les formes les plus diverses, sous les volumes les plus variés, en fragments de toutes dimensions qui prennent les noms de gros, grenailles, sables, schlammes ou boues, etc., et dont chaque classe exige un traitement spécial et complétement distinct.

Avant d'entrer à la préparation et même à la fonderie, la matière brute, au sortir de la mine, quel que soit d'ailleurs son état de pureté, doit être concassée en fragments plus ou moins volumineux. Ce cassage s'opérait autrefois par le marteau à main, plus tard, au moyen du bocard, et plus récemment à l'aide de cylindres horizontaux ou de cônes verticaux. A ces divers modes de concassage on vient d'adjoindre avantageusement, au point de vue du prix de revient et du travail obtenu, la machine américaine à mâchoires[1], introduite en Europe depuis peu de

1. Ce nouvel engin pourrait, disons-le en passant, être utilement appliqué au cassage des pierres employées sur les chaussées en macadam.

temps, et perfectionnée par MM. Huet et Geyler, qui en donnent une description et des dessins suffisamment détaillés pour étudier avec fruit le mode d'établissement et le fonctionnement de la machine[2].

Nous trouvons ensuite, dans cette première partie, la description des cylindres broyeurs, celle des trommels séparateurs et classeurs, engins destinés à diviser la matière en fragments plus petits que ceux livrés par le concasseur, à les séparer en classes de grosseurs différentes dont chaque type est soumis à un criblage particulier.

Cette opération, le criblage, sollicite toute l'attention des praticiens. Ils trouveront dans l'étude de MM. Huet et Geyler la description d'un engin récemment introduit dans les ateliers, *le crible continu*, qui, « substitué au crible intermittent, permet de traiter rapidement et avec peu « de frais, disent les auteurs, de grandes masses d'un minerai pauvre, « en élevant convenablement sa teneur, pour pouvoir ensuite en achever « l'enrichissement sur les cribles ordinaires, » faisant, par rapport aux cribles *finisseurs*, l'office de *dégrossisseurs* ou *ébaucheurs*, comme la mâchoire américaine citée plus haut, par rapport aux anciens appareils de broyage.

La première partie de cette étude s'arrête au travail des *grenailles*, travail d'une exécution relativement peu compliquée.

Dans la seconde partie, nos collègues passent en revue les appareils propres au traitement des matières fines, sables et boues. C'est au sujet de ce traitement que l'ingénieur chargé de la préparation mécanique doit user de la plus grande circonspection et appeler à son aide les notions les plus complètes de l'art qu'il exerce. Il se trouve, en effet, aux prises avec une matière souvent très-riche, très-précieuse, mais aussi très-ténue, se laissant facilement entraîner au loin, disséminée dans une grande masse de corps étrangers, présentant des différences de densité presque inappréciables, en raison de la ténuité des matières.

MM. Huet et Geyler font parfaitement ressortir toutes ces difficultés; ils nous mettent en garde contre les embarras qu'elles occasionnent, et, par suite, en mesure d'éviter ces pertes considérables réalisées par l'ancienne méthode avec ses engins insuffisants, mal conçus, ou irrationnellement appliqués.

Signalant l'importance des matières fines, au point de vue du rendement, les auteurs nous donnent successivement la description des appareils propres à leur traitement. Ils appellent d'abord l'attention du laveur de minerais sur les déchets qu'il est exposé à subir et sur les moyens propres à les éviter. Puis ils nous tracent la marche générale du

2. Les auteurs nous signalent, comme ayant concouru à l'étude des perfectionnements dont ils sont les auteurs, *M. Ling*, ingénieur en chef des ateliers de Fives-lez-Lille, appartenant à *MM. Parent et Schaken-Caillet et Cie*.

traitement rationnel de ces matières, qui comprend les deux opérations suivantes : le *classement*, l'*enrichissement*.

Classement. — Cette opération n'a plus en vue, comme pour les grenailles, une classification par grosseur; ici la division s'opère uniquement par le poids des matières.

Aux labyrintes employés primitivement à cet effet, on avait substitué, avec grand avantage, les caisses pointues (*spitzkasten*), de M. Bittinger, introduites d'abord à Schemnitz vers 1847 et au Harz en 1850.

A leur tour ces appareils ont été remplacés par les cônes classificateurs, appareils qui se prêtent à toutes les exigences du travail, et qui divisent la matière non point par volumes, mais par masses résultant de la combinaison du poids des grains et de leur surface. Ces appareils peuvent, en outre, servir au débourbage et à l'enrichissement du minerai, s'il est d'une composition simple.

On a cherché, comme dérivé des cônes classificateurs, à employer au même usage les caisses de classification. Les auteurs nous en donnent une description suffisamment développée. Ils ajoutent que ces caisses, d'une construction moins coûteuse que les cônes, consomment moins d'eau et donnent un plus fort rendement, mais en même temps fournissent un produit moins avantageux; dans certains cas, on leur accordera donc la préférence sur les cônes.

Enrichissement. — Classés comme nous l'avons dit plus haut, les minerais sont repris pour subir le travail de séparation des matières riches et pauvres. Ils passaient primitivement sur les *tables dormantes*, les *caissons allemands*, les *tables à secousses*, tous appareils *intermittents* dont le travail exige l'emploi d'ouvriers spéciaux astreints à en suivre constamment la marche.

On les a heureusement remplacés par des tables à travail continu de différentes formes dont MM. Huet et Geyler font parfaitement ressortir tous les avantages, en décrivant d'une manière claire et précise le but que ces appareils doivent remplir : tables tournantes, convexes et concaves, tables à secousses continues et sans fin, le mode de travail à y appliquer et les dispositions à suivre dans leur construction.

Signalons, entre autres perfectionnements introduits par nos collègues dans l'établissement de ces appareils, celui qui permet d'enrichir plus complétement le minerai sortant des tables tournantes concaves ordinaires, en ajoutant un tuyau laveur supplémentaire qui sépare encore des matières stériles du minerai sans exiger une nouvelle passe, et enfin le système général d'établissement de l'appareil, qui repose sur une seule plaque de fondation qui porte également la transmission de mouvement.

J'aurai cependant une observation à faire au sujet du mode de transmis-

sion de mouvement appliqué à ces engins. MM. Huet et Geyler emploient un système de vis sans fin et de roues d'engrenage d'une construction difficile, coûteuse, et qui, par l'usure des parties frottantes, peut amener des chocs dans le mouvement des tables, chocs nuisibles au bon fonctionnement du travail. Il m'a semblé que l'on pourrait substituer à ce mode de transmission par roues dentées celui des cônes de friction, mais nos collègues me font observer que leur système de transmission appliqué depuis longtemps ne donne lieu à aucun choc, à aucune trépidation.

Comme étude très-intéressante de cette mécanique spéciale, j'appellerai encore l'attention des membres de la Société sur les modifications fort heureuses apportées aux tables à secousses par MM. Neurburg (suspension *en dessus*, avec colonnes en fonte remplaçant les bâtis en bois), Jose del Monastério et Huet et Geyler (suspension *en dessous*). Au lieu des engins encombrants et difficilement abordables que nous rencontrions dans les anciennes laveries, nous nous trouvons en présence d'une table légère, dégagée de tous côtés, soutenue par un appareil de suspension placé sous la table de travail et mise en mouvement par une transmission inférieure. Le tout repose sur une plaque de fondation unique qui permet d'en régler le montage avec la plus parfaite exactitude, et de rendre l'appareil complétement indépendant de l'édifice qui le renferme.

MM. Huet et Geyler étudient encore dans leur note les conditions à remplir par un bon appareil distributeur de la matière à laver. Un fait ressort de cette étude : c'est que l'on n'a pas encore trouvé l'engin répondant à ces conditions; mais le problème est trop bien posé par nos collègues pour que la solution se fasse encore longtemps attendre.

Ils terminent enfin la seconde partie de leur travail par la description d'un élévateur dont la disposition fort heureuse leur appartient; cet appareil réunit tous les avantages des élévateurs à godets ordinaires sans en avoir les inconvénients, car il se charge seul d'une manière continue, sans grippement ni usure anormale des godets, et se décharge de même sans le secours d'un artifice mécanique quelconque.

Comme tout compte rendu doit *nécessairement* renfermer quelque critique, j'appellerai l'attention de nos collègues sur l'emploi exclusif des métaux dans les nouveaux appareils destinés à la préparation mécanique.

L'application du fer et de la fonte permet en effet de donner à ces engins les formes les plus rationnelles, les dimensions les mieux appropriées au travail qu'ils doivent produire. Ne perdons pas de vue néanmoins que cette substitution des métaux aux bois employés primitivement ne laisse pas d'être souvent très-coûteuse; elle est même impossible à réaliser pour un grand nombre de petites exploitations très-

intéressantes, mais possédant des moyens financiers fort limités, situées dans des localités aux abords difficiles, exposées à de longs chômages par un abaissement de température périodique, en un mot, soumises à des conditions économiques peu favorables.

C'est pour ces modestes établissements que les perfectionnements sont très-désirables; c'est en leur nom que je demande à nos collègues de diriger leurs nouvelles recherches, et de tenter, pour la démocratie des exploitations, ce qu'ils ont si bien fait pour la grande industrie minière.

On pourrait également signaler dans le travail de nos collègues l'absence de renseignements relatifs aux frais d'établissement des appareils si parfaitement conçus et si clairement décrits dans leur note. Mais je crois savoir que cette lacune sera comblée dans la troisième partie de leur étude, qui doit comprendre l'examen du travail des minerais dans tous les cas de la pratique, l'application des divers appareils déjà décrits, les frais d'établissement des usines, et enfin le prix de revient de la préparation.

Par les soins que MM. Huet et Geyler ont apportés dans la rédaction des deux premières parties de leur étude, nous pouvons prédire que cette troisième partie ne laissera rien à désirer, et que l'ensemble de ce travail formera le cadre aussi complet que possible d'un *Traité de la préparation mécanique des minerais.*

MÉMOIRE

SUR UNE EXCURSION DANS LE LIMOUSIN,

PAR M. SALVETAT.

Immédiatement après avoir visité les carrières de Zubelette, de Louhossoa et de Macaye, exploitées pour le kaolin et le feldspath qu'elles renferment, je me suis rendu dans le Limousin pour étudier comparativement la qualité des terres à porcelaine qui font la richesse de ces deux localités.

La distance qui sépare Macaye et Louhossoa est d'environ 6 kilomètres; elle présente partout des pegmatites plus ou moins pures, recouvertes ou mélangées de *gneiss rouges* entièrement décomposés.

La masse mise à nu par l'exploitation laisse voir partout des couches minces de kaolin alternant avec les pegmatites, ou les coupant dans toutes les directions. Vers la partie supérieure des excavations, tous les kaolins sont criblés de dentrites noires, probablement manganésifères, qu'il serait très-difficile d'enlever soit par triage, soit par épluchage. Ces impuretés disparaissent avec la profondeur; mais les kaolins renferment encore, çà et là, des masses ferrugineuses qui semblent provenir de grains de grenats en voie d'altération, moins décomposées, toutefois, que la roche elle-même; cette dernière est entièrement kaolinisée.

Les lavages méthodiques organisés sur une très-grande échelle permettent généralement de débarrasser la terre à porcelaine de ces points ferrugineux. La pâte faite avec ces kaolins cuit très-blanc. Les fabriques de Vierzon en font un usage journalier très-satisfaisant.

On trouve dans les carrières des Pyrénées les mêmes variétés de kaolin que dans le Limousin. Les kaolins argileux sont assez rares à l'état de pureté complète; mais il est facile de mettre de côté, par un simple triage, les variétés qui pourraient entrer immédiatement dans la fabrication de Sèvres. Le kaolin argileux brut est, en effet, souvent coloré dans sa masse par de l'oxyde de fer anhydre qui lui communique une coloration rouge très-distincte; cependant cette pénétration d'oxyde de fer n'est pas générale.

Mon séjour à Saint-Yrieix et les courses nombreuses que j'ai faites dans les carrières ouvertes sur plusieurs points environnants ont profondément modifié l'opinion que je m'étais faite de l'exploitation des kaolins dans le Limousin.

Le gîte de kaolins, reconnu dans les environs de Saint-Yrieix, s'étend à plusieurs kilomètres à la ronde, au milieu d'un plateau granitique recouvert de gneiss transformé presque partout en une roche kaolinique très-impure, rougeâtre ou jaunâtre. La masse granitique est directement recouverte, çà et là, de diorites schistoïdes, également décomposées en roche kaolinique noirâtre. Le plateau granitique qui représente la base du terrain offre de grandes variétés de structure ; tantôt à grains très-fins, il est fortement chargé d'un mica noir ou gris, tantôt il est à grandes parties ; tantôt enfin il perd complétement son mica pour se transformer en masses de pegmatites parfaitement caractérisées. Cette transformation, qui a lieu quelquefois d'une manière toute brusque, est surtout visible dans la carrière dite la Terrille, où la pegmatite exploitée pour couverte de porcelaine est surmontée d'une épaisseur de granite à petits grains noirs, sans qu'il y ait entre les deux roches de surfaces de soudures. Les fissures, qui forment une sorte de stratification très-inclinée dans la masse de pegmatite, se continuent dans l'épaisseur du granit, en suivant la même inclinaison.

Les diverses roches sont traversées irrégulièrement et dans tous les sens par des masses de quartz parfaitement caractérisées comme filons. Les carrières de Marcognac ont mis à découvert un filon de fer oxydé, d'une épaisseur de plus d'un mètre, presque vertical, qui sépare en deux la masse des terrains kaoliniques.

Tel est l'ensemble des roches au sein desquelles on trouve en un désordre extrême les diverses qualités de kaolin exploitées pour la fabrication de la porcelaine. Dans cet ensemble, une profonde altération, sans doute simultanée, a transformé toutes les roches feldspathiques en kaolin, et cette transformation est telle que ce terrain de gneiss, de diorite schistoïde et de granit est devenu friable et tendre jusqu'à l'onctuosité, lorsque l'humidité du sol s'y conserve en quantité suffisante.

Les parties résistantes qu'on rencontre sont formées de quartz et de pegmatites non décomposées. Mais cette circonstance est assez rare, car les pegmatites ont subi presque partout la décomposition qui les a transformées en kaolin caillouteux quand il y a beaucoup de quartz, et en kaolin argileux lorsque le feldspath domine. Le kaolin argileux est aujourd'hui très-peu répandu. Le kaolin sablonneux lui-même ne se présente que sur des points isolés.

Les carrières ouvertes partout, assez éloignées les unes des autres, ont permis de suivre la généralité de la disposition que je viens d'esquisser. Les points en exploitation, en 1836, étaient principalement Rudeuil, les Fieux, le Clos-de-Barre, La Foucodie, Marcognac, Bois-Vicomte.

Depuis cette époque, les carrières de Rudeuil et celles du Clos-de-Barre se sont trouvées abandonnées par suite d'épuisement. De nouveaux travaux ont agrandi la production de Marcognac et Bois-Vicomte; Coussac, le Glandon et Marsac ont été fouillés, et quelques carrières donnent aujourd'hui quelques espérances à leurs propriétaires.

J'ai pu, grâce à la bienveillance de M. Denuelle, explorer en détail tous ces divers points : je les passe en revue les uns après les autres; on peut les suivre sur le plan que je joins à ce mémoire (Pl. 54, fig. 1). Nous les prendrons en arrivant par la route de Limoges qui passe par l'étang du Chévrier. Là, près de la route nouvelle qui conduit aux moulins de Las Palloux, on voit apparaître, dans la tranchée, le granit à petits grains, le granit à grandes parties, surchargés de diorite schistoïde. Le granit à grandes parties contient d'assez gros cristaux de grenats, parfaitement formés. La diorite altérée est recouverte, sur toute l'étendue, d'un lit de terre végétale contenant des galets de quartz et des cristaux de rutile; c'est la terre arable qui est le principal gisement de ces derniers minéraux.

Cette circonstance explique la rareté des cristaux de rutile dans le commerce et le prix comparativement assez élevé qu'ils conservent aujourd'hui.

En entrant dans Saint-Yrieix, à gauche, on trouve la nouvelle carrière de la Foucodie. Je l'ai visitée; les échantillons que j'en ai vus sont assez beaux comme kaolins argileux et comme kaolins caillouteux; mais il ne m'a pas été possible d'estimer l'importance du gisement; car, à l'époque à laquelle je m'y suis rendu, les pompes d'épuisement ne fonctionnaient pas et la carrière était noyée. On espère reprendre le travail en écoulant les eaux au moyen d'une galerie d'épuisement débouchant dans la vallée.

En quittant La Foucodie pour regagner la ville de Saint-Yrieix, on rencontre les restes des carrières du Clos-de-Barre; un kilomètre tout au plus les sépare de la ville; elles appartenaient à M. Nénert. Cette carrière, la plus riche autrefois en kaolin argileux, est celle qui a fourni la manufacture de Sèvres de ses plus belles matières; elle n'est plus exploitée maintenant, et les détritus de l'exploitation témoignent seuls des travaux qui lui ont donné son importance.

En descendant vers la route de Limoges, mais sans la traverser, on se trouve sur la carrière de la Tamanie, sans importance et presque contiguë à celle dite de la Terrille; cette dernière carrière est très-intéressante; elle fournit le feldspath propre à la mise en couverte des porcelaines de Sèvres, et donne des masses bien différentes d'aspect qu'il faut faire sauter à la poudre; les unes sont sales, souillées par de l'oxyde de fer; cet oxyde provient du lavage par les eaux pluviales des kaolins rougeâtres dérivés des gneiss supérieurs; il remplit les fissures qui divisent la roche. Cette roche vaut sur place 8 fr. les 100 kil.

Les autres sont incolores, cristallines, très-pures; ce sont celles qu'on

met de côté pour le service de la manufacture de Sèvres. Elles valent sur place 16 fr. les 100 kil. La carrière offre une excavation de 12 mètres, avant la roche résistante, pratiquée dans les terrains meubles qui résultent de l'altération des diorites schistoïdes et des gneiss. Sur certains points de cette carrière, la pegmatite a subi l'altération physique qui lui fait perdre son aspect cristallin; l'onctuosité kaolinique n'apparaît pas encore, mais la roche a changé de nature; elle est dénommée *pierre dure* par les gens du pays.

Si l'observateur se rapproche de la route de Limoges, il rencontre encore sur le bord de cette route la carrière dite de Robert. Elle appartient à M. Pouyat. Elle a donné tout à la fois de la pegmatite et du kaolin. Elle semble être la suite de la formation qu'on a exploitée à la Terrille et paraît rattacher à cette dernière la carrière de Rudeuil, qui se trouve sur le côté droit de la route de Limoges, et sur la lisière de cette route, précisément vis-à-vis la carrière de Robert.

La figure 2, Pl. 54, indique la manière dont la pegmatite se présente dans la carrière de la Terrille. A est la diorite schistoïde altérée en kaolin minacé, rougeâtre jusqu'à la couche superficielle; des parties D semblent moins altérées que les autres; elles sont en contact avec des pegmatites P *g*, grises ou rougeâtres, ferrugineuses, recouvertes de granit noir G, et directement en contact avec les pegmatites incolores P *a*, surmontées du même granit noir.

En traversant la route, on voit l'emplacement de l'ancienne carrière de Rudeuil, qui a fourni les plus belles matières comme couverte à porcelaine; elle est abandonnée maintenant; elle avoisinait la carrière dite des Fieux, célèbre par la belle qualité d'argile qu'on en avait extraite.

Si l'on entre dans Saint-Yrieix et qu'on se dirige du côté de Marcognac, on trouve les carrières exploitées par MM. Alluand et Pouyat. La principale de ces carrières, exploitée comme toutes les autres à ciel ouvert et par gradins de 60 centimètres de hauteur, forme une seule excavation, dont une partie est la propriété de M. Alluand; l'autre appartient à M. Pouyat. A mesure qu'on gagne en profondeur, on replace les piquets qui délimitent les deux propriétés. La portion exploitée par M. Alluand a beaucoup plus de profondeur et de largeur que celle de M. Pouyat. Les eaux gênaient ces deux exploitations; les propriétaires ont, à frais communs, fait établir, pour continuer l'exploitation, une galerie d'écoulement qui n'a pas coûté moins de 40,000 francs.

La figure 3 fait voir la disposition des roches dans ce point de la formation géologique. Les premiers gradins traversent une couche assez épaisse de terre végétale reposant sur une couche de sable titanifère, inférieure à des lits d'une substance noirâtre combustible qui rappelle les sédiments tourbeux. Les roches kaoliniques incolores se trouvent au-dessous, mais séparées des couches superficielles par des amas de kaolins ferrugineux qui proviennent de l'altération de diorites schis-

toïdes très-irrégulièrement disposées. La majeure partie du kaolin est caillouteuse; il y a cependant quelque peu de kaolin argileux ou de kaolin sablonneux très-onctueux.

Cette masse offre cette circonstance remarquable, qu'elle est traversée par un large filon ferrugineux plus large en bas qu'en haut, de 1m,50 de largeur à l'affleurement, de 2m,50 à la profondeur de 10 mètres environ. Ce filon est formé par une argile très-rouge dans les parties supérieures, très-ocreuse et hydratée dans les parties inférieures, et, parallèlement à ce filon BB, il en existe un second beaucoup plus petit *bb*. Ces deux filons sont coupés perpendiculairement à leur direction par une masse de feldspath, affectant la forme de filon, et qu'on désigne dans la localité sous le nom de feldspath *suiffé;* il est jaunâtre; on dit qu'il ne cuit pas blanc.

En ce moment on enlève chaque jour 5,000 kil. par dix heures de travail, et on emploie exclusivement des femmes et des enfants pour monter, trier et éplucher la terre. Les hommes qui abattent la terre sont payés à raison de 1 fr.; les femmes à raison de 50 cent. Cette même paye est celle qu'on accorde aux enfants. La dépense totale est de 40,000 fr.

Quelquefois l'épluchage se fait à la tâche; les femmes qui l'exécutent reçoivent 30 cent. par quintal métrique, soit 30 cent. par 100 kil.

Le résidu du triage et de l'épluchage qui ne peut être mis directement dans les cuves à broyer reçoit, à Saint-Yrieix, le nom de *lavage* par abréviation de terre *destinée au lavage*.

M. Alluand lave sur place, à Marcognac, les kaolins dits lavage. Le résidu du lavage est du sable quartzeux qu'on rejette et de l'argile ferrugineuse qu'on vend à raison de 6 fr. les 100 kil., sous le nom de décantée. Cette argile décantée ne devrait pas recevoir ce nom, car elle ne représente pas le kaolin pur, débarrassé par le lavage et la lévigation du sable qui le souille.

Le kaolin caillouteux, encore humide, est débarrassé par des femmes munies de couteaux des parties qui paraissent trop colorées. Les matériaux choisis sont mis à part pour entrer immédiatement dans la fabrication des pâtes; on les broie sans lavage préalable. On ajoute à la plasticité par l'addition de kaolin argileux épluché de même et précieusement mis de côté.

Les portions qu'on a rejetées comme trop ferrugineuses sont reprises et lavées, le sable écarté et le kaolin recueilli. Cette singulière pratique, qui permet de tirer parti de toute la matière argileuse, doit avoir l'inconvénient de mêler aux pâtes les parties colorées que les pluies et le contact des pieds des porteurs transportent de la superficie du sol sur la surface des fonds en exploitation.

Le lavage se fait dans des caisses en bois, carrées, de 1m,80 de côté, desservies chacune par deux hommes, qu'on paye à raison de 2 fr. par jour. On charge ces caisses à la fois d'environ 75 kil. de *lavage*. On lave à deux

eaux, pendant environ dix minutes chacune; on emploie assez d'eau pour que le niveau du liquide s'élève à 12 centimètres au-dessus de la surface du sable; on agite à la main avec des râbles en fer; on reçoit la boue dans des bâches placées au-dessous des tamis destinés à retenir les impuretés ligneuses ou autres qui souilleraient l'argile. Les bâches de dépôt, placées deux à deux pour un même lavoir, ont $1^m,80$ de large sur $3^m,80$ de long. Elles déversent dans une cuve unique de $3^m,80$ de long sur $3^m,60$ de large. Des tampons de bois facilitent le décantage de l'eau qu'on doit forcément mettre en excès (fig. 5).

En s'éloignant de Saint-Yrieix, après avoir visité la carrière de M. Alluand, on rencontre la carrière dite des Dames. L'exploitation a mis à découvert la masse de kaolin, entourée de gneiss et de diorite schistoïde décomposés en kaolins rouges et verts. On remarque une espèce de faille produite par le glissement d'une partie de la masse de pegmatite qui a laissé le kaolin par suite de son altération. La faille, ainsi que le fait voir la figure ci-contre, a été remplie par du sable ferrugineux, des amas de quartz et de la terre végétale, sans doute par l'action des eaux sur la couche superficielle qui se relève à mesure qu'on s'éloigne de la faille (fig. 4).

La faille A arrête brusquement la masse de kaolin D, qui est caillouteuse et qui fournit çà et là quelques indices de kaolin argileux. La masse friable rougeâtre B qui surmonte le gîte de kaolin est ondulée comme on le voit; elle n'a de consistance que vers les parties *c* ayant le contact avec les pegmatites Q altérées. Une sorte de filon *a* présente une teinte blanche kaolinique qui se détache sur le fond du kaolin rougeâtre.

Tout près de cette carrière se trouve l'exploitation de M. Lamy. Des travaux considérables, en profondeur comme en largeur, ne paraissent fournir que très-peu de matières propres à payer les frais auxquels entraînent des recherches exécutées dans des terrains bouleversés. La dislocation de toute la masse semble être le résultat du glissement d'une des salbandes de la faille découverte dans la carrière des Dames.

Lorsqu'on quitte Marcognac pour se rapprocher de Coussac, on rencontre les exploitations de Bois-Vicomte ou Beau-Vicomte. Sur ce point, M. Nénert a fait ouvrir deux carrières : l'une dite la Grande, qui contient de belles masses de kaolin argileux, l'autre dite la Petite, qui paraît devoir donner des produits plus beaux que ceux fournis par la Grande.

Sur tous ces points, on épluche le kaolin caillouteux pour le faire entrer, sans lavage préalable, dans la composition des pâtes.

On a retrouvé dans ces carrières, qui ne sont distantes que de quelques décamètres, toujours sous la couche épaisse de gneiss et de diorites altérés, les kaolins qui sont principalement caillouteux. Ils existent encore dans les environs, mis à jour, dans 12 ou 15 petites carrières, plutôt de recherches que d'exploitation.

Pour se faire une idée bien exacte de l'exploitation générale des

kaolins dans l'arrondissement de Saint-Yrieix, il faut citer encore le Glandon, Coussac et Marsac. Je ne puis entrer, au sujet des dernières, dans de grands détails, n'ayant pu les juger que d'après les échantillons. Ici le kaolin change d'aspect; il n'est pas argileux; il n'est pas caillouteux. Le kaolin argileux semble pouvoir être fourni d'une manière assez productive par le Glandon, lorsque l'exploitation de la carrière aura pris une plus grande régularité. Quant aux extractions de Coussac et de Marsac, voire même de Pierrefiche, elles produisent des kaolins sablonneux rendant peu au lavage et fournissant par décantation un sable criblé de taches noires qui ne permet guère d'espérer de l'emploi de ces terres un résultat avantageux.

J'ai reçu, à titre d'échantillons, des mélanges de ces diverses terres venant de Marsac, Coussac et Pierrefiche. M. Ch. Denuelle les propose à raison de 18 fr. les 100 kil., rendus à Limoges, et M. Sazerat offrirait la même variété, autant que j'ai pu l'apprécier, au prix beaucoup plus réduit de 12 fr., rendus de même à Limoges, emballage non compris.

D'après l'ensemble des observations qui précèdent et que j'ai pu faire sur place, on peut conclure :

Que les kaolins argileux, base de la porcelaine actuelle de Sèvres, n'existent que très-rarement dans la formation de Saint-Yrieix; qu'on peut craindre de ne pouvoir retirer, au moins quant à présent, de cette localité les terres dont la manufacture de Sèvres peut avoir besoin, puisque les carrières les plus riches, celles de M. Alluand, n'en renferment que peu et toujours en quantité non suffisante pour donner aux pâtes, que ce fabricant livre au commerce, la plasticité que l'on réclame. M. Alluand m'a personnellement affirmé ne pouvoir accepter la commande de Sèvres. Il n'y a pas lieu de remplacer l'argile de kaolin argileux par l'argile de kaolin caillouteux, puisque les kaolins caillouteux ne sont pas soumis au lavage dans les carrières du Limousin, et qu'ils entrent, après un simple épluchage, dans la fabrication des pâtes;

Qu'il serait dangereux de choisir comme bonnes matières premières ce que l'on nomme dans le pays *décantée*, puisque cette matière est très-ferrugineuse et qu'elle résulte du lavage des résidus rejetés par l'épluchage;

Qu'il y a nécessité absolue de recevoir les matériaux bruts, afin d'en vérifier la pureté par un simple examen *de visu*.

Cette situation rend évidemment très-critique l'état dans lequel se trouve la fabrication des porcelaines de luxe, en dehors de Saint-Yrieix. Les kaolins d'Ambazac tiennent plutôt des argiles sableuses que des kaolins proprement dits, et, dans le commerce du Limousin, ils ont la réputation de donner des porcelaines tachées d'une infinité de points noirs.

Dans cet état de choses, il m'a paru convenable de chercher en dehors

même du Limousin, parmi toutes les variétés connues de terre à porcelaine, celles qui pourraient donner à Sèvres des résultats satisfaisants.

En quittant Limoges, j'ai visité quelques fabriques du Centre : j'ai pu recueillir là des nouveaux échantillons de kaolins des Pyrénées et de Saint-Austell. Les kaolins des Pyrénées, rendus à Vierzon, coûtent, le n° 2, provenant de Louhossoa, M. Plantier, propriétaire, 11 fr. décantés; ils reviennent à 9 fr., à Nantes, par 100 kil.

Les kaolins anglais, achetés à Saint-Austell, chez M. Wilher, valent 4 fr. 80 c. les 100 kil.; ils payent, à Nantes, 3 fr. de fret, et coûtent environ 10 fr. à Vierzon.

J'avais rapporté divers échantillons de Louhossoa (Basses-Pyrénées), provenant des carrières de M. Parant, de Limoges : les uns sont rougeâtres, les autres blancs. Il y aurait sans doute plus d'avantage à faire venir ces derniers que les résultats des lavages de M. Plantier, de Bayonne.

En même temps que j'ai suivi les essais sur les matières des Pyrénées et de Saint-Austell, on a fait, avec une certaine quantité d'argile kaolinique, venant de Kersalec (Bretagne), près de Landerneau, quelques assiettes, dont la pâte était trop fusible, et qui ont fondu dans la dernière fournée. Nonobstant cet accident, la pâte est blanche, bien transparente et privée de toute tache noire. Quand on aura pu répéter cet essai avec des pâtes analysées, je crois qu'on trouvera dans ces matières la qualité qui convient pour continuer, sans dégénérer, la fabrication des porcelaines blanches de Sèvres. M. Liskenne a trouvé, sur quelques points de Bretagne, de nouveaux gisements. Il en existe assurément sur le littoral.

Je désirerais que cette notice pût appeler l'attention des exploitants de kaolin sur les qualités des terres, et qu'ils pussent rencontrer et signaler les matières de premier choix dont on regrette actuellement la rareté.

Les kaolins se rencontrent fréquemment en France, mais ils laissent à désirer sous le rapport de la blancheur des porcelaines qu'on peut en fabriquer; il est indispensable aussi que des exploitations sérieuses permettent de juger la valeur de ces richesses minérales, qui se placent encore à des prix suffisamment rémunérateurs.

NOTICE

SUR FRANÇOIS BOURDON,

PAR MM. EUGÈNE FLACHAT ET GABRIEL BOUTMY.

La mort vient de nous enlever deux hommes qu'on peut, à juste titre, appeler fils de leurs œuvres : Vuigner et Bourdon.

Entrés dans la carrière de l'ingénieur sans la précieuse ressource de cette haute instruction scientifique qui en éclaire les premiers pas et en élargit les aspirations, ils sont parvenus par la rectitude de leur esprit, par un travail infatigable, par les habitudes d'existence les plus sévères, non-seulement à suffire à une tâche difficile, mais encore à l'agrandir et à la maintenir au niveau du progrès que la science exige dans les œuvres de ceux que le sort a placés en tête de notre profession.

Parmi les amis de M. Vuigner, il en est dont la voix est plus autorisée que la nôtre pour résumer sa vie et les services qu'il a rendus. M. Perdonnet, notre président honoraire, s'en est chargé. Nous avons revendiqué l'honneur de vous parler de M. Bourdon, parce que nous l'avons connu plus tôt et plus longtemps qu'aucun d'entre vous, parce que nous avons été témoin de sa vie et d'une partie de ses travaux, parce que enfin il nous est doux de parler d'une mémoire si chère pour tous ceux qui ont connu cet homme simple et sympathique.

François Bourdon est né à Seurre en 1797. Il fut élevé au collége de Mâcon, où son père, propriétaire de bateaux de rivière et d'établissements de meunerie, se l'associa quand ses études furent achevées. Dans cette association le jeune Bourdon effraya sans doute son père par son initiative hardie, peut-être aventurée, comme il nous l'a raconté ; toujours est-il qu'après quelques années il fondait avec son frère un atelier de construction. C'est à cette époque, 1824, que se rapporte la prise d'un brevet dans lequel Bourdon décrit l'emploi d'une hélice et de deux hélices à l'arrière des navires.

Il ne donna pas suite à cette application, faute de profondeur d'eau dans la Saône, mais il construisit deux bateaux à roues placées à l'arrière et qui naviguèrent pendant plusieurs années.

Il fit à Lyon, vers la même époque, des essais de touage à vapeur, sur

la Saône, entre la Mulatière et l'Ile-Barbe ; mais il dut y renoncer devant l'opposition des *Modères*, classe de mariniers qui avait alors en quelque sorte le monopole du touage, à bras d'hommes, dans la traversée de Lyon.

D'après les souvenirs de Bourdon, l'insuccès de sa tentative de fonder un atelier de construction vint, dit-il, de ce *qu'il ne savait pas travailler*. Aussi liquida-t-il pour faire un tour de France dans les ateliers les plus importants. Ce voyage dura quatre ans, et nous le voyons admis en 1827 au Creusot comme chef de l'atelier d'entretien des forges et de l'outillage. Il y resta quatre ans ; c'était à l'époque où MM. Manby et Wilson y installaient la fabrication du fer suivant le système anglais.

Bourdon construisit les forges à laminoir et les mazeries qui sont restées un modèle tant que le mazéage du fer a été une des étapes de la fabrication.

En 1833 il résolut de partir pour l'Amérique, toujours, disait-il, *pour apprendre à travailler*.

Entreprendre ce voyage dans les conditions où il l'a osé et réussir comme il a réussi, c'est l'occasion d'un premier éloge. Il lui fallut un tempérament et une volonté de fer.

Excellent ouvrier, déjà instruit, dessinateur habile, il quittait en 1833 le Creusot, où il était fort apprécié. Il avait respiré l'atmosphère de ce grand établissement où la fabrication de la fonte et du fer était installée sur une grande échelle, et où se jetaient déjà les bases d'un atelier de construction de machines à vapeur. Il était sûr d'un avancement qui eût été rapide, car il employait les heures du repos en études scientifiques dans lesquelles il était aidé par sa merveilleuse rectitude d'esprit. Mais il avait le sentiment de l'avenir et celui de l'insuffisance du champ offert à la construction en France. Il pressentait que la grandeur et la simplicité des solutions que la mécanique inventait pour la navigation à vapeur sur les fleuves américains devait être en rapport avec les dimensions de leur lit, avec les distances à franchir, avec les vastes besoins du trafic.

Il voulut voir et partit pour les États-Unis, emportant sa règle à calcul dont il faisait un continuel usage, et un dictionnaire anglais, seule ressource contre l'ignorance complète du langage qu'il allait parler, comptant sur ses bras et sur son savoir-faire pour vivre et étudier les ateliers et leurs produits. Il fallait avoir passé avec Bourdon des jours de travail et des soirées de repos pour recueillir de lui l'histoire des trois années qu'il passa en Amérique, amassant par un travail plus ou moins richement rémunéré dans les ateliers de construction les sommes nécessaires à ses études ; devenant, en quelques mois, d'ouvrier contre-maître, puis dessinateur, puis ingénieur, visitant les fleuves, les lacs, allant partout où le génie américain s'était montré créateur et original.

Ce fut avec peine qu'il résista aux instances de ses amis, à New-York,

qui voulaient le placer à la tête de leurs ateliers. Il avait été compris là comme il le fut plus tard en France, à une époque où il fallait quelque hardiesse pour ne pas craindre de livrer un grand atelier de construction à la direction d'un homme aussi fortement empreint du génie de la mécanique.

Au retour d'Amérique il passa en Angleterre, recommençant sa même vie d'ateliers, d'études et d'observations. Il fut rappelé en 1837, par M. Schneider, au Creusot, pour y prendre la direction de l'atelier de construction.

Ses débuts furent la construction d'une nouvelle forge dont nous avons tous, à cette époque, admiré les belles dispositions.

Aujourd'hui cette forge, d'où est sortie une bonne partie des rails du réseau français, fonctionne encore, mais elle n'est plus en rapport avec les développements de la fabrication. Une autre plus vaste, mais dans laquelle se retrouve le souvenir du génie de Bourdon, va bientôt lui être substituée; il suffit de voir la série croissante des dimensions du fer, et celle des quantités qu'en réclament les besoins de l'industrie pour comprendre qu'il en est chaque jour des établissements comme des hommes. A ceux-ci, pour se frayer la route, il faut plus de science; aux appareils, il faut plus de puissance mécanique.

Ce fut à cette époque que, devenu voisin de la Saône et du Rhône sur lesquels il avait fait ses premiers essais de navigation à vapeur, Bourdon sut mettre à profit les enseignements qu'il avait recueillis sur les grands fleuves d'Amérique et préluda aux magnifiques constructions qui ont porté si haut sa réputation d'ingénieur.

Le Rhône, on le sait, présentait les plus grandes difficultés pour la navigation à vapeur; faible tirant d'eau, souvent au-dessous de $0^m,80$; rapidité moyenne de $2^m,40$ par seconde, s'élevant jusqu'à 5 et 6 mètres dans certains passages; chenal étroit, barres et courbes à très-petit rayon.

Le fleuve était alors exploité par trois compagnies lyonnaises : les *Aigles*, les *Sirius*, les *Papins*. Leurs bateaux, presque exclusivement en bois, de formes plus ou moins épaisses, ayant 50 mètres de longueur, $6^m,50$ de largeur, calant $1^m,10$, étaient mus par des machines de 70 à 80 chevaux, à basse pression, fournies par les meilleurs constructeurs anglais. Ils remontaient en 70 heures, d'Arles à Lyon, 60 à 70 tonnes de marchandises, avec une consommation de 25 à 30 tonnes de combustible.

Ces résultats, obtenus après dix années d'essais persévérants, paraissaient ne pouvoir être dépassés; mais Bourdon sut inspirer confiance dans des progrès encore plus grands, et MM. Bonnardel frères, hardis négociants de Lyon, commandèrent deux bateaux en fer aux établissements du Creusot, en laissant au constructeur le choix absolu des dispositions et du modèle.

Ces deux bateaux, *le Crocodile* et *le Marsouin*, furent livrés vers la fin de 1839. Ils avaient 60 mètres de longueur, 6 mètres de largeur, et ti-

raient 1m,20 avec 80 tonneaux de chargement. Ils étaient mus par deux machines inclinées à grande course, ensemble de 80 chevaux, menant directement l'arbre des roues; les chaudières tubulaires à 3 atmosphères. Avec ces appareils, la remonte d'Arles à Lyon se fit en 34 heures, et la consommation fut sensiblement égale à celle des machines anglaises.

En 1840, le Creusot livre à MM. Bonnardel deux nouveaux bateaux de même système que les précédents : *le Mistral* et *le Siroco*. La longueur est portée à 65 mètres, la largeur réduite à 5m,70; les machines représentent 100 chevaux et le chargement 100 tonneaux.

En 1841 et 1842 viennent *la Foudre* et *l'Ouragan*. Longueur 67 mètres, largeur 5m,70, force 120 chevaux, chargement 120 tonneaux. Ces deux bateaux présentent des modifications importantes. La machine unique est horizontale et couchée à la hauteur du pont, avec lequel elle est invariablement liée. La chaudière, toujours tubulaire, est aussi réduite à un seul corps. Le poids du moteur est ainsi notablement diminué au profit du chargement.

De 1843 à 1844, Bourdon exécute 5 bateaux nouveaux : *le Creusot*, *le Mississipi*, *le Missouri*, l'*Althen*, *le Talabot*. Ces bateaux ont 75 mètres de longueur et 6m,30 de largeur; ils calent 1m,10 avec 150 tonneaux de marchandises. La machine, du même principe que les précédentes, à un seul cylindre horizontal, est à détente et condensation, avec une course de piston de 2m,50. La distribution, précédemment à tiroir, se fait par soupapes levées au moyen de cames ouvrant brusquement l'accès de la vapeur. La pompe à air, placée sous le cylindre à vapeur, a son piston constamment entre deux eaux. La machine emprunte au pont sa rigidité pour transmettre le mouvement au bateau. Les parois de ce dernier ne supportent dès lors aucune fatigue; la fonçure, formée d'un réseau cellulaire en tôle mince, si largement imité depuis dans les constructions maritimes et dans les travaux d'art en tôlerie, conserve une rectitude de lignes qui empêche toute déformation du reste de la coque. En même temps, les grosses cheminées à tirage naturel sont remplacées par la petite cheminée à tirage forcé, produit par un jet de vapeur dans la boîte à fumée. Enfin le bateau à vapeur, pour navigation fluviale, est créé, et nul depuis n'a fait ni mieux, ni plus léger, ni plus solide.

A la vue des résultats obtenus par les bateaux de Bourdon, toutes les compagnies lyonnaises remplacent leurs bateaux en bois par des coques en fer qu'elles allongent; elles augmentent en même temps la pression et doublent bientôt leur tonnage.

C'est dans ces conditions que la navigation du Rhône se présente pour suffire aux transports de blé pendant la campagne de 1846.

Le Creusot exécute à ce moment *le Bourdon*, *le Fulton*, *le Napoléon*, *la Ville-d'Autun*. Ces bateaux ont 90 mètres de longueur, 7 mètres de largeur, 260 chevaux; ils portent 300 tonneaux. Ils sont suivis de *l'Aigle*,

dont la coque a 100 mètres de longueur sur 7 mètres de largeur, et porte 340 tonneaux de marchandises.

Enfin, en 1848, nous voyons paraître *l'Océan* et *la Méditerranée*, qui ont 110 mètres sur 6m,30, 300 chevaux de force, et qui portent 400 tonneaux.

Ainsi, en dix ans, la longueur des bateaux a doublé, la puissance a plus que triplé, le chargement a sextuplé pour un même tirant d'eau, et tout cela sans diminuer en rien la facilité de navigation, qui se trouve, au contraire, assurée par la force énorme des machines.

Enhardi par ces succès, on allonge encore les bateaux; *l'Océan* et *la Méditerranée* entre autres sont portés de 110 mètres à 133, et grâce à cet accroissement, ils remontent 600 tonneaux d'Arles à Lyon en 36 heures de marche, avec 50 tonneaux de combustible pour le voyage, aller et retour.

En résumé, lors de l'apparition des premiers bateaux de Bourdon en 1839, les bateaux du Rhône mettaient 70 heures pour remonter d'Arles à Lyon 70 tonnes environ de marchandises, et consommaient pour cela 30 tonneaux de charbon : le fret, dans ces conditions, s'élevait de 50 à 60 francs la tonne. En 1850, les bateaux de Bourdon portaient jusqu'à 600 tonneaux en 36 et 38 heures, avec 50 tonneaux de combustible et des frais d'entretien sensiblement égaux à ceux d'autrefois; le fret entre Arles et Lyon était alors descendu à 10 et 12 francs, soit 0,04 par tonne et par kilomètre à la remonte.

Ces résultats, dus tout entiers au génie créateur de Bourdon, puissamment secondé par la haute capacité des propriétaires du Creusot et par l'intelligence de MM. Bonnardel, de Lyon, firent assurément de la navigation du Rhône la plus belle et la plus féconde entreprise avant les chemins de fer. Ils ont grandement contribué à la prospérité de la ville de Lyon, et cette navigation ne pouvait disparaître que devant les chemins de fer, devant un adversaire supérieur à tous les autres, dans l'emploi des forces de la nature appliquées à la locomotion.

Bourdon aimait la navigation avec passion; il racontait avec complaisance que dans ses voyages, quand il avait quelques heures à passer en ville, une force instinctive lui faisait descendre les rues en pente pour arriver à l'eau. Son imagination, si ingénieuse, était d'ailleurs guidée par une rectitude de sens admirable. Il allait au but sans se laisser détourner. Il a fait les machines les plus légères qui soient sorties d'aucun atelier, et à la fois les plus solides, parce qu'il avait le sentiment de l'intensité et de la direction des forces. Il n'employait de fonte que ce qui était absolument indispensable; il préférait le fer par-dessus tout et le disposait avec une grande dextérité.

La puissante faculté d'invention de Bourdon, qui allait directement à son but, le servait dans tous les détails. Ayant à envoyer sur le Rhin un bateau à vapeur de 75 mètres de longueur, il le partagea en trois parties de dimensions convenables pour franchir les écluses du canal du Rhône au

Rhin. Puis, arrivé sur le fleuve, quelques heures lui suffirent pour les rattacher. Il avait imaginé pour cela une simple boîte à rebords garnis d'un bourrelet de mousse que la pression de l'eau pressait contre les parois du navire et rendait étanche. Cette invention a reçu depuis un très-grand nombre d'applications, sans que Bourdon ait fait un pas pour que son nom y restât attaché.

En 1840, lorsque MM. Schneider entreprirent la construction au Creusot des premiers navires transatlantiques français, Bourdon inventa, pour forger les gros arbres et les pièces de mécanisme des machines, un marteau mû par la vapeur, frappant verticalement à la manière du mouton des charpentiers; cet appareil reçut le nom de *marteau-pilon*. La même idée était venue à Nasmyth, grand mécanicien aussi, et dont le nom se lit à côté de celui de Whitworth, sur la plupart des outils des ateliers en Angleterre et sur le continent. Nasmyth, consulté, déclara à M. Schneider avoir eu la même pensée que Bourdon, et, un an après, traversant la France, il s'arrêtait au Creusot pour assister au fonctionnement de l'appareil. A son retour, il prit un brevet tout aussi légitime sans doute, dans son pays, que celui du Creusot le fut en France. Aux appareils transatlantiques et aux nombreux bateaux de rivières dont nous venons de parler succèdent de nouvelles tentatives de touage sur la Saône, à Lyon. Autrefois Bourdon se halait sur des points fixes le long de la rive, au moyen d'un cabestan à vapeur placé sur le remorqueur. Cette fois, il pose une chaîne en rivière et se remorque sur cette chaîne, comme le font actuellement les toueurs de la Seine, puis il construit plusieurs bateaux grappins, en collaboration avec Verpilleux, mécanicien distingué de Rive-de-Gier.

Au milieu de ces travaux, suivant de près les progrès de l'industrie métallurgique, Bourdon suffit aux améliorations successives que réclament les hauts fourneaux et la forge du Creusot. Machines soufflantes à grande vitesse et directes, laminoirs à tablier élévateur, appareils à air chaud, utilisation des flammes perdues, il dessine tout lui-même et installe les appareils les mieux combinés pour l'époque. Enfin, frappé dès 1844 de l'avenir prochain des chemins de fer, il emploie les ressources de son vaste génie à la création d'un outillage complet appliqué à la construction des locomotives. C'est de cette époque que date entre autres un projet de cylindres laminoirs destinés à la fabrication, sans soudure, des bandages de locomotives et de wagons, projet qui montre que cette invention est née, comme bien d'autres, dans plusieurs têtes à la fois, sous l'influence d'un intérêt immédiat.

En 1852, lorsque la construction fluviale eut à peu près disparu par suite de l'établissement des chemins de fer, Bourdon quitta le Creusot pour prendre à Marseille la direction technique des ateliers appartenant alors à M. Taylor, et qui s'organisèrent peu après en société anonyme, dite Société nouvelle des forges et chantiers de la Méditerranée. Il y

devint le camarade, le compagnon aimé, le conseil honoré du groupe d'ingénieurs qui a concouru avec lui à fonder les vastes chantiers et les ateliers de cette compagnie, qui sont une des récentes richesses de la France.

De 1852 à 1863, Bourdon applique ses connaissances et son expérience consommée à développer les ateliers qu'il dirige. Il les dote d'un matériel puissant marqué au coin de son génie simple et hardi. Sous son impulsion, les forges et chantiers de la Méditerranée ne tardent pas à être en mesure de satisfaire aux plus grands travaux. Vers 1856, la marine impériale n'hésite pas à leur commander plusieurs machines de 600 chevaux pour vaisseaux et frégates. A ces constructions succèdent bientôt des appareils de 800, de 900 et 1,000 chevaux. A côté de ces travaux gigantesques, dans lesquels Bourdon est le coopérateur des ingénieurs du génie maritime, viennent se grouper d'autres travaux de toute nature auxquels il suffit comme en se jouant, surveillant les ateliers, faisant, suivant son habitude, presque tous ses plans lui-même avec une rapidité merveilleuse, allant essayer ses machines à Toulon et à la Seyne, venant à Paris discuter des plans et conclure des marchés. Il réussit simplement, sans bruit, à tout voir, à tout dominer, et crée autour de lui une activité et une émulation dont se feront difficilement une idée ceux qui ne l'ont pas vu à cette époque de sa vie.

En même temps, il sait se concilier l'affection de tous ses agents et obtient d'eux les plus grands efforts. C'est ainsi qu'en 1859, la marine ayant besoin de canonnières à bref délai, Bourdon exécute en 25 jours 20 machines à hélice de la force de 20 chevaux, avec leur générateur tubulaire.

Outre les machines pour la marine impériale, Bourdon en construisit pour les services maritimes des Messageries Impériales et pour des compagnies de navigation russes, italiennes et espagnoles.

En même temps il établit des roues hydrauliques, des gazomètres; il installe des raffineries de sucre, des huileries, des grues de toutes sortes, et tout un matériel pour la fabrication des blocs artificiels en béton du port de la Joliette. Enfin il imagine, pour le bassin de radoub du fort Saint-Jean, à Marseille, des portes flottantes, qui sont l'une de ses créations les plus originales.

Les portes flottantes ordinaires se descendaient en place en y pratiquant *une voie d'eau*, et, pour les remettre à flot, il fallait employer la pompe comme pour un navire coulé qu'on relève. Pour descendre la sienne, au lieu de l'eau du bief où elle flotte, Bourdon prend une eau supérieure reçue dans une caisse faisant partie de la porte elle-même, et dont le fond est plus élevé que le niveau du bief à intercepter. Lorsqu'il veut remettre sa porte à flot, il lui suffit d'écouler naturellement le contenu de la caisse dont nous venons de parler, au moyen d'une soupape placée dans le fond, comme dans une baignoire. La porte ancienne demandait

plusieurs heures et plusieurs hommes pour être mise à flot. Bourdon descend la sienne en tournant un robinet placé sur la conduite des eaux de la ville; il la relève en ouvrant une soupape; un seul homme fait la manœuvre en quelques instants. Certains doutes s'élevaient sur le succès de ces portes flottantes, et peut-être les difficultés de détail en furent-elles vues avec une secrète satisfaction par les esprits exclusifs qui refusent aux combinaisons mécaniques de concourir dans les travaux d'art dont elles ont été trop longtemps exclues; toujours est-il que ce fut l'occasion d'un nouveau triomphe, et, comme les autres, franchement accepté.

Au milieu de ces magnifiques travaux, au mois d'avril 1869 Bourdon est frappé d'apoplexie et reste paralysé du bras droit. Ce malheur, qui eût arrêté tout autre, ralentit à peine son activité; ayant perdu l'usage de sa main droite, il a le courage, à soixante-quatre ans, d'apprendre à écrire, à dessiner de la main gauche, et il continue la vie de travail qu'il n'a jamais interrompue.

La multiplicité des travaux si divers dont nous venons de parler fait ressortir éloquemment l'immense étendue du talent de Bourdon. Il était, on peut le dire sans exagération, à peu près universel. Quoi qu'on vînt lui demander, il avait toujours un bon conseil à donner et un projet à présenter; il était bien rare qu'il n'arrivât pas du premier jet à une solution pratique, et le plus souvent d'une hardiesse qui a fait reculer plus d'un esprit moins bien trempé que le sien.

Parlerons-nous du ponton à vapeur qu'il a construit à Marseille, sur lequel une bigue en tôle sans haubans, sans étais, suffit à lever des poids de 30 à 40 tonnes. Citerons-nous ses grues qui ont servi à la construction du grand bâtiment des docks de Marseille, sous lesquelles les locomotives circulaient pendant qu'une bigue en bois prenait les matériaux dans les wagons pour les déposer à toute hauteur jusque sur les murs de refend du bâtiment; tout cela à la vapeur et sous la conduite d'un seul homme.

Nous avons parlé des docks de Marseille; nous sommes amené tout naturellement à vous dire que Bourdon y fut chargé de l'exécution et de l'installation de l'importante machinerie hydraulique adoptée par la compagnie pour la manutention des marchandises, et dont les plans furent fournis par Armstrong, le célèbre ingénieur anglais.

Ces constructions, fixant l'attention de Bourdon sur les appareils hydrauliques à forte pression, il en crée, coup sur coup, deux applications remarquables : le halage des navires sur cale inclinée et le martelage du fer au moyen de la presse hydraulique.

Jusqu'alors, le halage des navires sur la cale inclinée, appelée *slip* en Angleterre, se faisait à bras d'hommes au moyen de cabestans. Bourdon substitue à ces appareils, dans les chantiers de la Seyne, une presse hydraulique mue par machine à vapeur, et tirant le navire au moyen d'une

chaîne, dont les maillons, de même longueur que la course du piston de la presse, se retirent à mesure que le navire avance.

Le marteau hydraulique, fondé sur le même principe, a mis à la disposition de l'industrie, pour les ouvrages spéciaux, un moyen nouveau de souder le fer sans choc et de fabriquer dans des matrices les pièces de la plus forte dimension. Cet appareil fonctionne à Marseille.

Toujours aussi modeste et aussi désintéressé vers la fin de sa carrière qu'au début, Bourdon engage sa compagnie à prendre un brevet pour cette invention, disant, comme il l'avait dit autrefois au Creusot lors de la création du marteau-pilon, que ses idées ainsi que son temps appartiennent à ceux qui l'occupent. C'est là un sentiment de délicatesse qui, joint à la libéralité avec laquelle Bourdon a livré de tout temps ses idées et ses inventions à ses amis ou à ses élèves, peint le caractère de cet homme éminemment supérieur.

En juin dernier, Bourdon fut appelé, par l'administration de l'Exposition universelle de 1867, à faire partie d'un comité composé d'un petit nombre d'ingénieurs chargés d'indiquer les dispositions les plus convenables pour la transmission de la force motrice aux machines en mouvement.

Enfin, pour terminer, il nous reste à citer l'installation que Bourdon vient de faire d'un monte-charge hydraulique pareil à ceux des docks de Marseille, dans la gare de la Râpée au chemin de Paris à la Méditerranée, pour descendre les wagons chargés dans les magnifiques caves du quai de Bercy, appartenant à la compagnie du chemin de fer. Même en appliquant là le système d'Armstrong, Bourdon sut y ajouter le cachet particulier d'efficacité qui est le caractère de ses œuvres.

C'est le dernier travail de notre ami, qui n'a pas eu la satisfaction de le voir en service. Il en terminait à peine les essais, lorsque la mort est venue nous l'enlever en quelque sorte sur la brèche. Il a travaillé jusqu'à son dernier jour.

Nous ne parlerons pas des épisodes politiques de la vie de Bourdon. Quand il fut appelé à l'Assemblée constituante par le suffrage de la contrée où il avait acquis l'estime générale, il témoigna modestement sa surprise et la crainte de son insuffisance. Ce n'était pas son élément, et personne plus que lui ne désirait rester à la place que les aptitudes justifient. Il travaillait d'ailleurs beaucoup, là comme dans ses ateliers. Il votait avec fermeté et conviction; mais il paraissait souffrir dans ce milieu agité et incertain.

Le caractère privé de Bourdon, les sages habitudes de sa vie, ont fait de lui le plus estimable des hommes. Sa carrière d'ingénieur, qui, depuis son retour d'Amérique, s'est partagée entre le Creusot et la Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, a été celle d'un homme laborieux par goût et par devoir, mettant sans réserve tous les produits d'une grande intelligence, toutes ses idées au service de l'établissement qu'il

dirigeait. Il laisse l'héritage d'une vie sans une ombre. En entendant aujourd'hui cette sublime poésie chantée sur son cercueil : *Si iniquitates observaveris, Domine, Domine, quis sustinebit ?* nous nous demandions s'il ne serait pas plus vrai et plus juste de substituer à ce sentiment profond et peut-être exagéré d'humilité une parole d'espérance pour celui qui a donné l'exemple fécond d'une vie tout entière employée à bien faire.

NOTICE SUR ÉMILE VUIGNER

INGÉNIEUR CIVIL.

PAR M. A. PERDONNET.

Il est bien peu d'hommes dont la vie nous offre un exemple aussi instructif de ce que peut le travail réuni à l'intelligence que celle d'Émile Vuigner. Cette vie si laborieuse, cette vie si utile sera un précieux enseignement pour les jeunes gens qui se vouent à la noble carrière d'ingénieur.

Pendant quinze années de mon existence, en ma qualité d'administrateur chargé plus spécialement des travaux du chemin de fer de l'Est, j'ai eu Vuigner comme collaborateur.

Tous les jours ou à peu près, pendant ces quinze années, j'ai travaillé avec lui; personne, par conséquent, mieux que moi n'a pu apprécier ses rares qualités; mais avant d'en parler, je dois dire quelques mots de ses débuts dans la carrière et des travaux qu'il avait exécutés avant de devenir ingénieur en chef au chemin de fer de l'Est. J'en emprunterai le récit à un touchant discours prononcé sur sa tombe par M. Mary, inspecteur général des ponts et chaussées.

« Vuigner est né en 1798 à Saint-Valery, où son grand-père, M. Masset, avait déterminé par ses démarches énergiques l'ouverture du canal de la Somme en 1786; en 1814, il était sur le point d'entrer à l'École polytechnique, lorsque la Restauration, en supprimant la place de son père, commandant d'artillerie, le força à renoncer à cette carrière et à utiliser ses connaissances mathématiques en donnant des leçons au lycée de Perpignan, où ses succès l'avaient fait distinguer.

« Placé, en 1818, au canal de l'Ourcq, dont une compagnie concessionnaire reprenait les travaux commencés par son parent, M. Girard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, Vuigner parvint en peu de temps, par son activité, par son intelligence, et surtout par l'influence irrésistible que son énergie lui donnait sur les ouvriers, à se distinguer au milieu des nombreux agents de cette entreprise, de manière à être choisi, après l'achèvement des travaux, pour diriger l'exploitation et l'entretien de cet important canal.

« Son succès, dans cette position élevée, détermina bientôt les administrateurs des canaux Saint-Denis et Saint-Martin à étendre ses attributions sur ces deux voies navigables.

« C'est dans cette période de sa carrière qu'il fit exécuter les immenses entrepôts de céréales et d'huiles de la Villette, les usines hydrauliques des canaux Saint-Denis et Saint-Martin, et d'autres travaux importants.

« Dès 1841, Vuigner commençait les plans de ces magnifiques magasins généraux de la Villette, pour l'exécution desquels il reçut la croix de chevalier de la Légion d'honneur en 1847, lorsqu'il était déjà au service de la compagnie de l'Est, et qu'il a complétés depuis lors en 1854 et 1864. »

Ces créations aux portes de Paris avaient attiré sur Vuigner l'attention des capitalistes, et quand le chemin de fer de l'Est eut été concédé, les administrateurs de la Compagnie lui confièrent le poste d'ingénieur ordinaire sur cette ligne; mais une année à peine s'était écoulée, sa supériorité ayant été reconnue, le conseil le nomma ingénieur en chef.

L'État, aux termes de la loi, devait exécuter les travaux de terrassement et les travaux d'art du chemin de Strasbourg; la Compagnie devait balaster et poser la voie; mais la section de Paris à Meaux n'étant pas terminée dans le délai prescrit, le gouvernement fut obligé de reconnaître qu'enlacé dans les formes administratives il ne pouvait, malgré l'incontestable habileté de ses ingénieurs, opérer avec la même rapidité et la même économie que l'industrie privée, et il sous-traita avec la Compagnie. Il en fut de même pour une partie de la ligne au delà de Meaux. Vuigner a donc eu le mérite de construire, sur les plans, à la vérité, des ingénieurs des ponts et chaussées, une portion importante de la ligne de l'Est, et la Compagnie de l'Est lui donna la preuve de sa satisfaction d'abord en sollicitant et obtenant pour lui la croix d'officier de la Légion d'honneur, récompense rarement accordée auparavant à des ingénieurs civils, et, plus tard, en le chargeant de l'exécution du chemin de Paris à Mulhouse, ainsi que du chemin de Strasbourg à Kehl, y compris le grand pont sur le Rhin, et du chemin de Châlons au camp.

L'exécution du pont sur le Rhin fut partagée en deux parties à peu près égales entre les ingénieurs français et les ingénieurs badois, comme devait l'être la dépense.

Les ingénieurs allemands furent chargés de la superstructure, les ingénieurs français des piles et des culées.

L'exécution des piles dans un terrain mouvant d'une profondeur indéfinie, s'affouillant jusqu'à 18 mètres de profondeur, au milieu d'un courant d'une grande rapidité, dans un fleuve sujet à des crues inattendues et considérables, présentait des difficultés devant lesquelles on se fût arrêté il y a vingt ans. Ces difficultés ont été surmontées avec une rare habileté à l'aide d'un nouveau procédé que la plupart des ingénieurs connaissent, et qui, depuis lors, a été fréquemment appliqué avec quelques modifications. L'idée de ce procédé, sans doute, n'est pas due à

Vuigner; elle appartient à un ingénieur des ponts et chaussées, M. Fleur-Saint-Denis, qui était placé sous ses ordres et qui a précédé son chef dans la tombe; mais cette idée ne fut pas acceptée de prime abord par le plus grand nombre. Le conseil des ponts et chaussées hésitait à l'approuver. Vuigner ne craignit pas d'engager sa responsabilité en apposant hardiment sa signature sur les plans et promettant le succès.

Dans l'exécution, il eut fréquemment occasion d'intervenir et le fit toujours avec une grande sûreté de jugement.

On s'en convaincra surtout en prenant connaissance des instructions qu'il transmettait en février 1859 à l'ingénieur principal, M. Fleur-Saint-Denis, instructions qui ont été reproduites, page 73 du mémoire sur les travaux du pont du Rhin, publié par Vuigner lui-même.

Il contribua ainsi puissamment au succès que l'imagination un peu vive de M. Saint-Denis aurait pu compromettre.

La construction du chemin de fer de Châlons au camp fut un prodige de rapidité dans l'exécution. J'avais promis à l'Empereur que ce chemin, long de 25 kilomètres, serait terminé en deux mois, si le Gouvernement mettait immédiatement les terrains à notre disposition. Vuigner tint parole pour moi : les travaux ayant été commencés le 12 juillet, le chemin fut livré à l'exploitation le 15 septembre, et, dans ce court espace de temps, il avait fallu traverser la Marne sur un pont de 66 mètres de longueur.

Ce pont fut construit en charpente avec des bois provenant des démolitions des cintres du viaduc de Chaumont; une partie des remblais furent remplacés par des estacades également en charpente, avec des bois de la même provenance, sur un développement total de 830 mètres.

Le jour de l'inauguration de cette ligne, l'Empereur donna de ses propres mains à l'administrateur la croix d'officier de la Légion d'honneur que l'ingénieur portait déjà, et qu'il avait voulu gagner aussi pour son ami. C'était un devoir pour moi de rappeler cette circonstance. La Compagnie avait demandé pour Vuigner la croix de Commandeur, mais elle avait échoué; elle la demanda de nouveau sans plus de succès au moment de l'ouverture du chemin de Mulhouse; ce n'est pas que l'Empereur, si bienveillant pour tous les travailleurs, ne fût disposé à les honorer dans la personne de Vuigner qu'il aimait, et dont il avait apprécié les talents exceptionnels ; mais le souverain lui-même ne peut enfreindre les règles de la hiérarchie, en vertu desquelles la position sociale d'un homme lui donne quelquefois le pas sur le véritable mérite. Lors de l'ouverture du pont du Rhin, malgré l'esprit libéral bien connu du Grand-Duc de Bade, ce fut encore en vertu des mêmes règles que les administrateurs dont le rôle s'était borné à approuver et signer les traités et les plans, ainsi que les chefs de division du Ministère des travaux publics, étrangers à l'opération, obtinrent la plus haute récompense honorifique, la croix de commandeur de Zehringen, lorsque l'ingénieur en

chef ne recevait que la croix d'officier du même ordre, et l'ingénieur exécutant, inventeur du procédé, une simple croix de chevalier, également décernée au chef du cabinet du Ministre, et à un commissaire de police. Espérons que le temps n'est pas loin où le mérite seul servira de mesure à l'étendue de la récompense.

Lorsque le chemin de Mulhouse fut concédé à la Compagnie de l'Est, le conseil d'administration de cette Compagnie, sur ma proposition, témoigna à Vuigner sa reconnaissance pour les services qu'il lui avait déjà rendus, en le nommant ingénieur en chef de cette grande ligne.

L'honneur d'étudier et de construire seul une grande artère n'avait été accordé jusque-là à aucun ingénieur civil, et ne l'a été depuis lors qu'à des ingénieurs de l'État. Le corps des ponts et chaussées s'associa, toutefois, dans ce cas, et nous devons l'en remercier, à cet hommage rendu à un ingénieur qui n'était sorti d'aucune école scientifique, en consentant à ce que plusieurs de ses membres lui prêtassent leur concours comme ingénieurs placés sous ses ordres.

Le chemin terminé, on a prétendu que la dépense en avait été excessive. Il faudrait, pour asseoir son jugement en pareille matière, s'être rendu compte des difficultés que présentaient les travaux, des exigences du cahier des charges, des conditions imposées par le conseil d'administration, etc., et c'est ce que n'ont pas fait ceux qui critiquent Vuigner. Or le chemin de Mulhouse n'était pas d'une exécution facile; il coupe souvent les vallées au lieu de les suivre, traverse des terrains de très-mauvaise nature, est assis sur des remblais et un viaduc d'une grande hauteur aux environs de Provins, et enfin traverse la Marne, près de Paris, sur un pont dont les arches devaient avoir une portée inusitée pour éviter d'entraver la navigation. La limite de pente imposée pour ce chemin était de six millimètres, et les courbes devaient être de grand rayon; enfin le conseil d'administration, contre mon avis, avait imposé à l'ingénieur une rapidité d'exécution qui a été très-coûteuse.

Vuigner, dans tous les autres travaux qu'il a exécutés, a su, de l'aveu de tous, réunir l'économie à la solidité. Comment aurait-il failli dans un seul cas? C'était plus qu'un ingénieur d'une grande pratique, c'était aussi un homme d'affaires du premier ordre : personne ne savait mieux que lui négocier un marché et débattre un contrat.

Jamais je ne l'ai vu embarrassé dans les cas difficiles, il trouvait toujours un expédient heureux pour sortir d'embarras; sa mémoire était prodigieuse, j'en ai été souvent émerveillé.

Les travaux de la ligne de Mulhouse terminés, Vuigner, déjà âgé, comprit que l'heure de la retraite avait sonné pour lui; mais la Compagnie ne voulut pas s'en séparer entièrement, elle lui donna une marque éclatante de la confiance qu'il lui inspirait, en le nommant ingénieur en chef conseil, fonctions auxquelles elle attacha un traitement élevé; et, si la

mort ne l'eût pas enlevé prématurément, elle lui eût offert une place d'administrateur délégué.

Quand un homme comme Vuigner prend sa retraite, ce n'est pas pour se livrer à un repos absolu, le travail d'ailleurs était un besoin pour une organisation aussi active que la sienne, et il avait des fils de l'avenir desquels il se préoccupait.

« Il crut, dit M. Mary dans le discours déjà cité, que pour initier ses fils à la carrière qu'il avait si bien parcourue il devait utiliser la force et l'activité qu'il avait conservées jusqu'à ses derniers jours dans des entreprises industrielles où ces jeunes gens acquerraient sous son habile direction la pratique des travaux et des affaires.

« C'est ainsi qu'il est devenu l'âme des Sociétés qui se sont créées pour l'établissement des magasins généraux d'Amiens et de la sucrerie de Beauchamp, qu'il a pris une part active à l'administration de l'importante usine de Montataire et de plusieurs autres entreprises. »

La mort est venue le surprendre encore plein d'activité et de force au milieu de ces travaux auxquels il apportait une égale sollicitude et d'un bonheur de famille dignement acquis par une si laborieuse existence.

Si Vuigner a exécuté de grands travaux, il a écrit également d'importants et de beaux mémoires ou rapports sur ces travaux ou sur diverses questions se rattachant au génie civil, et l'on a peine à comprendre qu'il ait pu trouver le temps de suffire à des occupations si nombreuses et si variées.

Je recommande surtout aux jeunes ingénieurs civils la lecture d'une série de rapports si nets, si lucides et si nourris qu'il a rédigés sur les travaux qu'il a exécutés au canal de l'Ourcq et sur les magasins de la Villette. Flachat, si bon juge en pareille matière, m'a exprimé son opinion sur ces travaux dans un passage d'une lettre qu'il m'écrivait il y a quelques jours dans des termes que je vais reproduire. « Les travaux de Vuigner, disait Flachat, sur les canaux de Saint-Denis et Saint-Martin, de l'entretien desquels il a été longtemps chargé, les usines motrices hydrauliques le long des écluses, les magasins de la Villette contigus au canal de l'Ourcq, le grand établissement du pont de Flandre, sont des œuvres de premier ordre pour l'économie et la bonne entente de la construction. C'est à Vuigner que les actionnaires de ces établissements doivent d'avoir été achetés à bénéfice par la compagnie des magasins généraux : il a aidé à cette fusion. »

Il faut encore citer, parmi les écrits de Vuigner, sa description des travaux du pont de Kehl et de ceux de l'embranchement du camp de Châlons, un *Mémoire sur les Docks*, entrepôts à la Villette, son Mémoire sur le meilleur système à adopter pour élever et distribuer par jour, dans la ville de Lyon, vingt mille mètres cubes d'eau filtrée, et pour assainir les divers quartiers de cette cité, sa Note sur les trucs hydrauliques, établis par Guillaume, sous sa direction, à l'Entrepôt général

des grains et farines de la Villette, et enfin sa Note sur les causes des inondations souterraines qui se manifestent dans les quartiers nord de Paris dans certaines circonstances déterminées.

Les membres de la *Société des ingénieurs civils* savent tous l'immense service que Vuigner a rendu à cette Société. Ce n'était pas chose facile de réunir le capital de 50,000 francs nécessaire pour obtenir la sanction du Conseil d'État et se concilier les suffrages des membres du Conseil appelé à se prononcer sur cette question. « Vuigner, a dit notre ami Eugène Flachat, lorsqu'il lui a succédé en 1861 au fauteuil de la présidence, a su éveiller par ses actives instances les sympathies, et entraîner la conviction des hommes appelés à donner leur avis sur la sanction demandée au Gouvernement.

« Je crois donc, Messieurs, interpréter fidèlement votre pensée, en adressant à Vuigner, notre président sortant, nos remercîments unanimes, et l'expression de notre vive gratitude pour avoir mené à heureuse fin cette importante affaire.

« Ce succès lui donne, parmi les fondateurs de cette Société, un rang égal à celui qu'il a gagné par sa belle et laborieuse carrière dans la profession des ingénieurs civils, dont il est l'un des chefs les plus utiles et les plus aimés. »

Ces paroles de Flachat ont été accueillies par d'unanimes applaudissements, et ce n'était que justice, car la *Société des ingénieurs civils* déclarée société d'utilité publique, la profession d'ingénieur civil recevait du Gouvernement une consécration qui lui manquait encore, et le génie civil était constitué.

Comme directeur de l'École centrale, je dois aussi remercier Vuigner des marques d'intérêt qu'il a en toute circonstance données à ses élèves; Eugène Flachat est le seul qui ait acquis les mêmes titres à la reconnaissance de l'École.

Je ne veux pas dire que Vuigner ait traité avec une faveur spéciale les élèves de l'École centrale placés sous ses ordres. Aussi bien que moi-même il rendait justice aux jeunes ingénieurs qu'il employait sans se préoccuper de leur origine; mais, à mérite égal, au moins il donnait la préférence à ceux de ces élèves qui se présentaient pour être admis dans le personnel de la compagnie, et si un grand nombre ont su se maintenir d'abord dans le poste qui leur avait été confié, puis s'élever à un grade supérieur comme MM. Grenier, Guillaume, Marsillon, De Beausobre, Barroux, Faliès et Nillis, par exemple, et plusieurs autres, cela tient à ce qu'ils ont su conquérir ce grade par des services que personne ne pouvait contester.

Vuigner a aussi prouvé combien il appréciait l'excellence de l'enseignement de l'École centrale en y plaçant un de ses fils, qui, digne héritier de son nom, est sorti de l'École le premier de sa promotion.

Après avoir exposé rapidement les titres si nombreux de Vuigner à

l'estime du public comme ingénieur, nous ne pouvons mieux faire que de terminer cette notice par quelques lignes que nous empruntons encore au discours de M. Mary sur la vie privée de notre cher et regretté collègue.

« Cet homme énergique, dont je viens d'esquisser la vie d'ingénieur, dit M. Mary, était dans sa famille le fils, le frère, le mari, le père le meilleur que l'on pût rencontrer, les malheureux ne l'invoquèrent jamais en vain, et je puis dire qu'il ne laisse que des amis dont les larmes se mêlent à celles de sa famille éplorée. »

CATALOGUE

DES

OUVRAGES COMPOSANT LA BIBLIOTHÈQUE

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Agriculture.

DRAINAGE.

Drainage des terrains en culture, par M. Le Grand.
Guide du draineur, par M. Faure.

GÉNÉRALITÉS.

Agriculture allemande, ses écoles, son organisation, ses mœurs et ses pratiques les plus récentes, par M. Royer.
Agriculture française, départements de l'Isère, du Nord, des Hautes-Pyrénées, du Tarn, des Côtes-du-Nord, de la Haute-Garonne, de l'Aube, par les inspecteurs de l'agriculture.
Agriculture (Cours de M. de Gasparin).
Bulletins de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Comité central agricole de la Sologne (Procès-verbal de la séance du 22 septembre 1864).

DIVERS.

Conservation des grains par l'ensilage, par M. Doyère.
Conservation (sur la) des grains par l'ensilage, par M. Léon Malo.
Conservation (sur la) des grains, par M. Delonchant.
Culture maraîchère, par M. Courtois-Gérard.
Du cheval en France, par M. Charles de Boigne.
Éléments des sciences physiques appliquées à l'agriculture, par M. Pouriau.
Engrais (Annuaire des) et des amendements, par M. Rohart.
Engrais (fabrication économique des) par M. Rohart.
Étude sur le cadastre des terres, sur les hypothèques et l'enregistrement des actes publics et sur la péréquation de l'impôt foncier, par MM. de Robernier, Félix et Ignace Porro.

Guide de chimie agricole, par M. Basset.
Habitations ouvrières et agricoles, par M. Émile Muller.
Labourage à vapeur. (Rapport du jury au concours international de Roanne, par M. Pépin-Lehalleur.)
Maison rustique, par MM. Ysabeau et Bixio.
Maladie de la vigne (Rapport sur la), par M. Marès.
Manége Pinet (Rapport sur le).
Note sur le progrès agricole, par M. Ernest Pépin-Lehalleur.
Phosphates de chaux en Angleterre, par M. Ronna.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Trélat.
Programme pour le Cours de génie rural, par M. Faure.
Progrès de l'Agriculture moderne dans la plaine des Fossés, par M. le marquis de Poncis.
Rapports sur le rouissage du lin, sur le drainage, sur l'exploitation de la tourbe et sur la fabrication des engrais artificiels et commerciaux, par M. Payen.
Registre des chevaux pur sang.
Soufrage économique de la vigne, par M. H. Marès.
Tarif et prix du règlement des travaux de jardinage, par M. Lecoq.
Traité complet de l'élève du cheval en Bretagne, par M. Ephrem Houel.
Vignes du Midi, par M. Marès.

IRRIGATIONS.

Irrigations. Rapport de M. Le Chatelier sur un mémoire de MM. Thomas et Laurens.
Irrigation ; son influence sur l'agriculture, et des moyens d'y pourvoir, par M. J.-A. Krajembrenk, ingénieur à Java.
Irrigations (Recherches sur les eaux employées dans les), par MM. Salvetat et Chevandier.

Chemins de fer.

ACCIDENTS. — SIGNAUX.

Accidents, moyens pour les prévenir, notes publiées dans le journal *le Brevet d'invention*, par M. Jules Gaudry.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Émile With.
Accidents sur les chemins de fer, par M. Pacquerie.
Appareils électriques destinés à assurer la sécurité sur les chemins de fer, par M. Marquefoy.
Appareil dit *avertisseur*, ou signal d'arrêt des trains, par M. Grivel.
Clepsydre à signaux (Note sur une), par M. Delacroix.
Description d'un nouveau système de signal électrique, par M. Fernandez de Castro.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Enquête sur les moyens d'assurer la régularité et la sécurité de l'exploitation sur les chemins de fer.
Indicateurs électriques destinés à compléter la sécurité des trains sur les chemins de fer, par M. Regnault.
L'Électricité et les chemins de fer, par M. Fernandez de Castro.
Signaux fixes (pose et manœuvre) du chemin de fer de Lyon, par M. Marié.

ÉTABLISSEMENT, TRACÉ ET DIVERS.

Bâtiments de chemins de fer, par M. Chabat.
Chemins de fer d'Angleterre (matériel fixe, matériel roulant, exploitation et administration), législation et statistique, par M. Le Chatelier.
Chemin de fer de Lyon à la Croix-Rousse, par MM. Molinos et Pronnier.
Chemin de fer allant au camp de Châlons (travaux exécutés pour l'établissement de l'embranchement), par M. Vuigner.
Chemin de fer hydraulique, par M. L.-D. Girard.
Chemins de fer à courbes de petits rayons (Système applicable aux), par M. Aubry.
Chemin de fer de Gray à Verdun, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer du Havre à Marseille par la vallée de la Marne, par M. Henri Fournel.
Chemin de fer de Paris à Meaux, par MM. Mony, Flachat, Petiet et Tourneux.
Chemin de fer de Metz à Sarrebruck (Projet), par MM. Flachat et Petiet.
Chemin de fer de Vitry à Gray, par M. Brière, de Mondétour.
Chemin de fer occidental de Mons, Jemmapes et Saint-Ghislain à Nieuport, par MM. Guibal et Baulleux.
Chemin de fer de Constantinople à Bassora, par MM. E. et A. Barrault.
Chemins de fer (La Russie et ses), par M. E. Barrault.
Chemins de fer suisses et les rails-way Claring house de Londres, par M. Bergeron.
Chemin de fer du Saint-Gothard, par M. Koller.
Comparaison entre un profil de chemin de fer à inclinaison de 15 millimètres et un profil à inclinaison de 25 millimètres, par M. E. Flachat.
Complément des voies de communication dans le centre de la France, par M. Stéphane Mony.
Construction des chemins de fer, par M. Émile With.
Enquête sur la construction et l'exploitation des chemins de fer.
Études sur les chemins de fer du haut Jura, par M. Lebaltre.
Études de la traversée du Simplon entre Gliss-Brigg et Domo-d'Ossola, par M. Lehaître.
Étude critique des divers systèmes proposés pour le passage des Alpes suisses par un chemin de fer, par M. G. Lommel.
Étude comparative du Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, et de la valeur technique et commerciale des voies ferrées projetées par ces passages alpins italico-suisses, par M. G. Lommel.
Études sur les voies de communication, par M. Teisserenc.
Géométrie des courbes et garages des voies de chemins de fer, par M. V. Pron.
Pentes et rampes, par M. Léveillé.
Propulseur atmosphérique, par M. Petiet.
Questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer (Consultation sur les).
Rapport sur les chemins de fer suisses.
Rapport sur les chemins de fer Neuchâtelais, par M. de Pury.
Rapport sur le chemin de fer d'Anvers à Gand, par M. Prisse.
Rapport ou compte rendu des opérations du chemin de fer de l'État belge pour les années 1842, 1844, 1845, 1846, etc., jusqu'à 1864.

Rapports présentés par les administrations de chemins de fer aux assemblées générales.
Rapport du conseil d'administration du chemin de fer de Hainaut et Flandres.
Rapport sur les chemins de fer de Belgique, par M. Teisserenc.
Rapport sur l'application du fer dans les constructions des chemins de fer, par M. Hodgkinson.
Résistance dans le passage des courbes de chemin de fer, par M. Vissocq.
Résistance des convois à l'action des moteurs, par M. Jousselin.
Tracé des chemins de fer (Rapport fait à la Commission).
Traction sur plans inclinés pour chemins de fer, par M. Agudio.
Traité élémentaire des chemins de fer, par M. Perdonnet.
Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, par M. Goschler.
Traité pratique de la construction des chemins de fer, par M. D'Adhémar.
Traversée des Alpes par un chemin de fer, par M. Flachat.
Traversée du Simplon, Saint-Gothard et Lukmanier, par M. Barmane.
Traversée des montagnes avec l'air comprimé dans les tunnels métalliques, par M. Berrens.

GÉNÉRALITÉS.

Album des chemins de fer, par M. Cornet.
Album des chemins de fer, par M. Jacquin.
Annuaire des chemins de fer, par M. Petit de Coupray.
Budget de chemin de fer (Projet), par M. F. Hubert.
Cahier des charges de la Compagnie du chemin de fer du Midi.
Cahier des charges du chemin de fer Victor-Emmanuel.
Calculs sur la sortie de la vapeur dans les machines locomotives, par M. Jannesey.
— sur l'avance du tiroir, les tuyaux d'échappement, les conduites de vapeur et de fumée dans les locomotives, par MM. Flachat et Petiet.
Chemins de fer aujourd'hui et dans cent ans, par M. Audiganne.
Chemins de fer, par M. E. Flachat.
Chemins de fer français, par M. Victor Bois.
Chemins de fer à bon marché (Rapport sur les), par M. Bergeron.
Chemins de fer communaux et provinciaux à construire en Italie, par M. Alfred Cottrau.
Consultation sur des questions de droit présentées par les Compagnies de chemins de fer.
Documents statistiques sur les chemins de fer, par M. le comte Dubois.
Emploi de la houille dans les locomotives et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.
Exploitation des chemins de fer (Améliorations à introduire dans l'), par M. Bordes.
Foyer fumivore Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet (Félix).
Guide commercial à l'usage des chefs de gares et stations, par M. Petit de Coupray.
Histoire financière des chemins de fer français, par M. de Laveleye.
Moyens financiers (Précis sur les) des chemins de fer de France, par M. Cromier.
Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les locomotives, par MM. Meyer.
Position technique, commerciale et financière du Lukmanier, comparée à celle du Saint-Gothard, par M. G. Lommel.

Rachat des chemins de fer par l'État, par M. Poujard'hieu.
Ressorts en acier (Mémoire sur les), par M. Philips.
— (Manuel pratique pour l'étude et le calcul des), par M. Philips.
Solution de la question des chemins de fer, par M. Poujard'hieu.
Statistique des chemins de fer de l'Allemagne, par M. Hauchecorne.
Tarif des chemins de fer de la Confédération germanique, par M. Émile With.

MATÉRIEL ROULANT.

Chemins de fer d'Angleterre (Matériel roulant des), par M. Le Chatelier.
Chariots roulants sans fosse, par M. Sambuc.
Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.
Contre-poids (Des) appliqués aux roues motrices des machines locomotives, par MM. Couche et Resal.
Essieux pour les chemins de fer, par M. Benoît Duportail.
Essieux creux à graissage continu, par M. Evrard.
Frein automoteur (Rapport), par MM. Robert, Combes et Couche.
Frein dynamométrique, par M. Chuwab.
Frein hydraulique, par M. Meller jeune.
Frein Castelvi.
Frein instantané pour chemin de fer, par M. Tourasse.
Graissage à l'huile appliqué aux véhicules des chemins de fer, par M. Dormoy.
Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives, par MM. Le Chatelier, E. Flachat, J. Petiet et C. Polonceau.
Locomotive à grande vitesse, avant-train mobile, par M. Robert d'Erlach.
Locomotives pour forts trains express avec train universel, par M. Vaessen.
Locomotive articulée à douze roues couplées, par M. Rœchaert.
Locomotive à poids utile, pour le passage des Alpes et des Pyrénées sur les rampes de 5 pour 100, par M. Cernuschi.
Locomotives (Atlas des ouvrages d'art et des) exécutés aux usines du Creuzot, par M. Schneider.
Locomotive de M. Haswell (Note descriptive sur une), par M. J. Gaudry.
Locomotive électro-magnétique (Nouveau système de), par MM. Bellet et de Rouvre.
Locomotive de montagne, par M. Beugniot.
Matériel des chemins de fer (De la réception du), par M. Benoît Duportail.
Matériel des chemins de fer. Documents officiels, par MM. Valério et de Brouville.
Matériel roulant permettant la construction des chemins de fer à petites courbes et fortes rampes, par M. Edmond Roy.
Matériel roulant des chemins de fer, par M. Nozo.
Matériel roulant des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ligne du Bourbonnais, remis par M. Bazaine, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Mémoire sur un système de wagons et sur la composition des trains.
Moteur des convois de chemins de fer dans les grands tunnels (Notice sur le), par M. Nicklès.
Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.
Programme de concours pour une machine pour le chemin de fer du Semmering. Consul d'Autriche.

Roues pleines en tôle, par M. Amable Cavé.
Théorie de la coulisse, par M. Philips.
Traction sur plans inclinés au moyen d'un moufle différentiel à double effet ou locomoteur fumiculaire, système Agudio (Rapport à M. le Ministre des travaux publics), par M. Combes.

VOIE.

Amoncellements de neige sur les chemins de fer (Moyens de les prévenir), par M. Nordling.
Bagues en fonte applicable à la voie Vignole, par M. Desbrière.
Changement et croisement de voie, par M. Thouvenot.
Chariot roulant sans fosse pour la manœuvre des wagons et machines locomotives dans les gares de chemins de fer, par M. Sambuc.
Considérations sur les serre-rails et tables-rails, par M. Barberot.
Croisements des voies, par M. Le Cler.
Croisements et changements de voies (Études sur les), par M. Richoux.
Écartement (Note sur l') des alimentations sur les chemins de fer, par M. Nordling.
Éclissage, nouveau système, par M. Desbrière.
Nouveau système de pose de rails, par MM. Prestat, Thibaut et Constant.
Rapport sur les expériences faites par la Compagnie du Nord, pour l'amélioration des voies, par M. Brame, ingénieur des ponts et chaussées.
Voies ferrées économiques (Mémoire à l'appui de l'établissement des), par M. G. Love.
Voies, perfectionnement au système Barberot, serre-rails appliqués sur traverses ordinaires, semelles en fonte remplaçant les traverses, et nouveau serre-joint pouvant s'appliquer sur tous les systèmes.

Chimie industrielle.

Analyses chimiques (Dictionnaire des), par MM. Violette et Archambault.
Chimie agricole (Guide de), par M. Basset.
Chimie industrielle (Précis de), par M. Payen.
Chimie (Introduction à l'histoire de la), par M. Liebig.
Chimie (Précis élémentaire), par M. Garnier.
Chimiques (Nouvelles manipulations), par M. Violette.
Chimie, céramique, géologie, métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Conservation des bois, par M. Jousselin.
Conservation des bois, procédé Legé et Fleury-Perronnet.
Conservation et coloration des bois (Réponse aux experts), par M. Gardissal.
Conservation, incorruptibilité et incombustibilité des bois, par M. Meyer d'Uslar.
Éclairage (Traité de l'), par M. Péclet.
Éclairage par le gaz hydrogène carboné, par M. Gaudry.
Fabrication et distribution du gaz d'éclairage et de chauffage de M. Samuel Clegg, traduit par M. Servier.
Fabrication du gaz à la houille et à l'eau, par M. Faure.
Gaz de Londres (Usines à), par M. Jordan.
Gélatine (Mémoire sur la), par M. de Puymaurin.

Imprégnation des bois, par M. Pontzen.
Minium de fer.
Nouvelle méthode pour reconnaître et déterminer le titre véritable et la valeur commerciale des potasses, des soudes, des acides et des manganèses, par M. le docteur Bichon.
Procédés volumériques pour le dosage du zinc et l'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Rapport sur les fabriques de produits chimiques en Belgique.
Rouges d'aniline (Mémoire sur les), par E. Jacquemin.
Rouges d'aniline, l'azaline et la fuschine (Mémoire sur les), par M. Maurice Engelhard.
Rouge d'aniline et la fuschine (Examen comparatif sur le), par M. E. Kopp.
Silicatisation ou applications des silicates alcalins solubles au durcissement des pierres poreuses, par M. Kuhlmann.

Divers.

Albums photographiques. Vues de la Grèce, de l'Égypte, de Constantinople et de Venise.
Amélioration de l'abri des troupes en campagne, par M. P. Barbe.
Bibliographie des ingénieurs et des architectes.
Bibliothèque scientifique industrielle (De la nécessité de créer une), par M. Mathias.
Caisse de retraite pour la vieillesse (Rapport sur la), par M. Pereire.
Conquête de l'Afrique par les Arabes, par M. Henri Fournel.
Écoles d'arts et métiers d'Angers (Notice), par M. Guettier.
Écoles impériales d'arts et métiers de Liancourt, Compiégne, Beaupréau, Châlons, Angers et Aix-la-Chapelle, par M. Guettier.
Encyclopédie biographique sur M. Hodgkinson.
Excursion en Angleterre et en Écosse, par M. Burel.
Exploration du Sahara et du continent Africain, par Gérard.
Exposition universelle. Une dernière annexe, par M. Andraud.
Exposition nationale de Constantinople, par M. Ganneron.
Fondation d'un collége international à Paris, à Rome, à Munich et à Oxford, par M. Eugène Rendu.
Guide du sténographe, par M. Tondeur.
Guide-Manuel de l'inventeur et du fabricant, par M. Armengaud jeune.
Il Bosphoro de Suez, relazione dell'AVV. Guglielmo Rava, deligato della camera di commercio ed arti altanissetta precedata della deliberazione della stessa camera, e seguita della riposta del Gav. Guglielmo Luigi Lauzirotti, precedente della camera medesima.
Inventeurs (les) et les inventions, par M. Émile With.
La Chirobaliste d'Héron d'Alexandrie, traduite du grec, par MM. Vincent et Prou.
Lettre adressée à la Chambre de commerce, par M. Calla.
Liberté du travail et les coalitions, par M. Baudouin.
Marques de fabriques. Guide pratique du fabricant et du commerçant, par M. E. Barrault.
Moyen de réduire le nombre des naufrages le long des côtes.
Notice sur J.-P.-J. d'Arct.

Notice sur les travaux de M. Lebon d'Humbertin, inventeur du thermo-lampe, par M. Gaudry.
Notice sur Philippe de Girard, par M. Benjamin Rampal.
Notre-Dame de Brou, par M. Malo.
Organisation de l'enseignement industriel, par M. Guettier.
Première année au collége, par M. Gardissal.
Propagation des connaissances industrielles, par M. Guettier.
Production et le commerce des sucres (Notice sur la), par M. De Dion.
Recherches sur la détermination du prix de revient, par M. Teisserenc.
Relazione sulla applicabilità del sistema Fell al passaggio delle Alpi Elvetiche con una ferrovia a forti pendenze.
Réponses aux questions posées par MM. les délégués, par M. Ferdinand de Lesseps.
Revue provinciale, remis par M. Gayrard.
Tableau physique du Sahara oriental de la province de Constantine, par M. Ch. Martins.
Thèse pour la licence, par M. Deville.
Transports et correspondances entre la France et l'Angleterre, par M. Petiet.

Géologie.

Affaissement du sol et envasement des fleuves, survenus dans les temps historiques, par M. de Laveleye.
Cartes agronomiques des environs de Paris, et cartes géologiques et hydrologiques de la ville de Paris, par M. Delesse.
Composition de l'appareil spécial de certains échinodermes et sur le genre protophyte, par M. Ebray.
Étude géologique de l'Isthme de Suez, par M. E. Tissot.
Études géologiques sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Études géologiques sur le Jura neuchâtelois, par MM. Désor et Gressly.
Études géologiques, brochures diverses, par M. Ebray.
Étude paléontologique sur le département de la Nièvre, par M. Ebray.
Formations volcaniques du département de l'Hérault, dans les environs d'Agde et de Montpellier, par M. Cazalis de Fondouce.
Géologie du Pérou, par M. Crosnier.
Géologie du Chili par M. Crosnier.
Nivellement général de la France, par M. Bourdaloue.
Rapport sur les provinces du levant de l'Espagne, par M. Ch. Laurent.
Revue de géologie pour l'année 1863, par MM. Delesse et Laugel.

Machines à vapeur.

Albums des machines, outils et appareils construits dans les ateliers de M. Frey fils.
Bâtiments à vapeur. Tenue du journal, par M. Petiet.
Chaudière à vapeur (Rapport présenté à la Société industrielle de Mulhouse sur le concours ouvert par elle pour la meilleure), par M. Dubied.
Code de l'acheteur, du vendeur et du conducteur de machines à vapeur, par M. Ortolan.
Combustibles employés pour le service des chemins de fer, par M. Tony de Fontenay.

Condenseurs par surfaces, et de l'application des hautes pressions à la navigation à vapeur, par M. Sébillot.

Consommation des machines fumivores et autres machines de même type de la Compagnie de l'Est, par M. A. Barrault.

Emploi de la houille dans les locomotives, et sur les machines à foyer fumivore du système Tenbrinck, par M. Couche.

Essais officiels de la frégate cuirassée la *Numancia* (Note sur les), par M. F. Bourdon.

Explosion des machines à vapeur, par M. Andraud.

Foyer fumivore, par M. de Fontenay.

Foyer fumivore de M. Tenbrinck (Résultat pratique du), par M. Bonnet (Félix).

Guide du mécanicien conducteur de locomotives, par MM. Flachat et Petiet.

Guide du chauffeur et du propriétaire de machines à vapeur, par MM. Grouvelle et Jaunez.

Incrustations salines (Emploi du sucre pour préserver les chaudières à vapeur des) par M. Guinon.

Injecteur Giffard (Notice théorique et pratique sur l').

Labourage à la vapeur (Rapport du jury au concours international de Roanne), par M. Pepin-Lehalleur.

Loi mathématique de l'écoulement et de la détente de la vapeur, par M. Carvalho.

Locomotives. (Voir *Matériel roulant*.)

Machines à vapeur fixes ou locomobiles (Recueil de), de M. Cumming.

Machines à disques, par M. Rennie.

Machines de Marly, par M. Charles Prièz.

Machines à vapeur (Traité élémentaire et pratique des), par M. Jules Gaudry.

Machine avec générateur à combustion comprimée de M. Pascal (Rapport sur la), par M. Colladon.

Machine à gaz, par M. Gérondeau.

Machine à vapeur rotative du système Chevret et Seyvon.

Mouvement du tiroir (Notice sur les méthodes graphiques usitées pour étudier le), par M. Vidal.

Navigation fluviale par la vapeur, par MM. Ferdinand Mathias et Callon.

Nouveau système de générateur, par M. George Scott's.

Nouveau mode d'emploi de la vapeur dans les machines locomotives, par MM. Meyer.

Steam Boiler. Explosions.

Théorie de la coulisse, par M. Phillips.

Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, par M. Armengaud aîné.

Traité théorique et pratique des machines à vapeur fixes, locomotives et maritimes, par M. Jullien.

Transports des marchandises sur les canaux au moyen de la vapeur, par M. Dubied.

Mathématiques et Sciences diverses.

Cours de mathématiques à l'usage des candidats à l'École centrale des arts et manufactures, par M. de Comberousse.

Cosmographie (Précis élémentaire), par M. Vallier.

Flexion des prismes, par M. Vidal.

Géométrie descriptive (Éléments de), par M. Babinet.
Nivellement (Notice sur le), par M. Petiet.
Nivellements (Notice sur les), par M. Bourdaloue.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Tachéométrie (Guide pratique de), par M. Joseph Porro.
Topographie et géodésie (Cours de), par M. Benoît.
Traité de cinématique, par M. Bélanger.
Traité de cinamique d'un point matériel, par M. Bélanger.

Mécanique.

Air comprimé (Notice historique sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareil aérohydrostatique de M. Seiler.
Barrage hydropneumatique, par M. Girard.
Construction des boulons, harpons, écrous, clefs, rondelles, goupilles, clavettes, rivets et équerres ; suivi de la Construction de la vis d'Archimède, par M. Benoît Duportail.
Détermination du volant et du régulateur à boules ramenant la vitesse de régime, par M. Charbonnier.
Dyname (Le), par M. Boudsot.
Engrenage à coin, par M. Minotto.
Machine à voter de M. Gallaud (Rapport sur la), par M. Molinos.
Machines-outils, par M. Chrétien.
Mécanique pratique, leçon par M. A. Morin.
Montage et la manœuvre du métier à tisser (Note sur le), par M. Burel.
Moteurs hydrauliques (Traité théorique et pratique des), par M. Armengaud.
Organes de machines (Collection d'). Cours de M. Lecœuvre.
Portefeuille des principaux appareils, machines, instruments, par M. Chaumont.
Rapport sur le moteur-pompe de M. Girard, par M. Callon.
Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures (Exposition universelle de Londres 1854), par M. le général Poncelet.
Traité complet de la filature de coton, par M. Alcan.
Transmission à grandes vitesses. Paliers graisseurs de M. de Coster, par M. Benoît Duportail.
Travaux de vacances des élèves de l'École centrale (Albums des).
Turbines hydropneumatiques, par MM. Girard et Callon.

Métallurgie. — Combustibles.

Agglomération des charbons menus, par M. Gérondeau.
Album du cours de métallurgie professé par M. Jordan à l'École impériale centrale des arts et manufactures en 1864-65.
Album de la compagnie des hauts fourneaux et fonderies de Givors.
Album de la Société Boignes, Rambourg et C^e^, hauts fourneaux, fonderies et forges de Fourchambault, Torteron, Montluçon et la Pique.
Album des Types de rails en acier et croisements de voie en acier fondu, coulé, exécuté par MM. Petin, Gaudet et C^e^.
Album des fonderies de MM. Haldy, Rœchling et C^e^.

Album de la maison Durenne, maître de forges (pièces exécutées dans son usine à Sommeroire (Haute-Marne).
Aluminium dans la métallurgie (Importance de l'), par M. Tissier.
Annuaire du consommateur d'acier, par M. Duhamel.
Chimie. Céramique, géologie et métallurgie, par MM. Ebelmen et Salvetat.
Coulées de moules en coquilles sur l'application de l'électricité aux métaux en fusion et sur le tassement des métaux, par M. Guettier.
Différence de consommation de la fonte blanche et de la fonte grise, par M. H. Fournel.
Essai des chaînes-câbles.
Étude sur l'état actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siegen (Prusse), par M. Jordan.
Exploitation et traitement des plombs dans le midi de l'Espagne.
Fabrication de l'acier en Angleterre, par M. Grateau.
Fabrication et prix de revient des rails (Mémoire sur la), par M. Curtel.
Fabrication des fontes d'hématite, par M. Jordan.
Fers spéciaux (Album des) de la société des forges et fonderies de Montataire.
Id. id. des usines du Creuzot.
Id. id. de MM. Karcher et Westermann, maîtres de forges.
Id. id. de MM. Lasson, Salmon et C^e^, maîtres de forges.
Id. id. des usines et forges de Châtillon et Commentry.
Id. id. de la société *la Providence*.
Id. id. de MM. Dupont et Dreyfus, maîtres de forges.
Id. id. et fontes moulées de la Société anonyme des Hauts Fourneaux de Maubeuge.
Fers spéciaux (Différents types des) des forges de Manois (Haute-Marne).
Id. id. des forges de la Maison Harel et C^e^, à Pont-l'Évêque.
Fonderie (De la), telle qu'elle existe aujourd'hui en France, par M. Guettier.
Fonte Gruson avec album.
Four à coke à compartiments fermés, par M. Tériot.
L'Art du maître de forges, par M. Pelouze.
Métallurgie pratique, par M. D.
Métallurgie (Traité complet), par le docteur Percy, traduit par MM. Petitgand et Ronna.
Nouveaux procédés ayant pour but de revêtir les métaux d'une couche adhérente et brillante d'autres métaux, par M. Weil.
Nouvelle méthode d'extraction de zinc, par M. Muller.
Procédés volumétriques de dosage du zinc, et d'essai de ses minerais et de ses alliages, par M. Jordan.
Produits et divers procédés de la manufacture d'acier fondu de M. Friedrich Krupp.
Richesse minérale de la France (Notice sur la), par M. Simonin.
Théorie de la trempe, par M. Jullien.
Traité de la Fabrication de la fonte et du fer, par MM. Flachat, Petiet et A. Barrault.
Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, par M. Jullien.
Traitement des minerais de cuivre (Sur un nouveau procédé de), par M. Petitgand.
Usine de Spreuk bank fomedry (Note par M. Gaget.)
Utilisation des scories de forges, procédé de MM. Minary et Soudry.

Mines. — Carrières.

Appareil de sûreté pour l'exploitation des mines, par M. Amable Cavé.
Aperçu du travail des hauts fourneaux dans quelques États de l'Amérique du Sud, par M. Henri Fournel.
Avenir de l'exploitation des mines métalliques en France, par M. Petitgand.
Bassin houiller de Graissessac, par M. Mercier de Buessard.
Carbures de fer. En général les fers impurs sont des dissolutions, par M. C.-E. Jullien.
Canaux souterrains et houillers, de Worsley près Manchester (Mémoire sur les), par MM. H. Fournel et Dyèvre.
Concession de Grigues et la Taupe, par M. Henri Fournel.
Exploitation des mines, de leur influence sur la colonisation de l'Algérie, par M. Alfred Pothier.
Fer et du charbon (Du) à Épinac, par M. Gislain.
Fusées de sûreté (de MM. Chenu et Comp.), par M. Le Chatelier.
Houilles sèches et maigres du bassin de la Sambre inférieure.
Lampe de sûreté pour les mines de houille, par M. Prouteaux.
Matériel des houillères en France et en Belgique, par M. Burat Amédée.
Mémoire sur les principales variétés de houilles consommées sur le marché de Paris et du nord de la France, par M. de Marsilly.
Minéralogie appliquée, par M. A. Burat.
Minerais d'étain exploités à la Villède, par M. Guettier.
Minéralogie usuelle, par M. Drapier.
Minéralogie (Traité élémentaire), par M. Naranzo.
Mines de houille de l'Angleterre (Rapport sur les), par M. Th. Guibal.
Mines de la Grand'Combe (Rapport sur les).
Mines de Languin, par M. Henri Fournel.
Mines de Seyssel, par M. Henri Fournel.
Pression et la température de l'air dans l'intérieur de quelques mines (Observations sur la), par M. Simonin.
Rapport de la Commission chargée d'examiner les divers projets présentés à la Société des charbonnages de Saint-Vaast pour le percement des sables mouvants de son puits de Bonne-Espérance, de M. Th. Guibal.
Richesse minérale de l'Algérie, par M. Henri Fournel.
Situation de l'industrie houillère, par M. A. Burat.
Statistique minéralogique et métallurgique, par M. Henri Fournel.

Ouvrages périodiques.

Album encyclopédique des chemins de fer, par MM. Boise et Thieffry.
Album pratique d'ornements, par M. Oppermann.
Annales des Ponts et Chaussées.
Annales des Mines.
Annales de l'Agriculture, par M. Oppermann.
Annales de la Construction, par M. Oppermann.

Annales Télégraphiques.
Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées.
Annales du Génie civil.
Annales du Conservatoire.
Annales de la Société des Ingénieurs industriels de Madrid.
Annuaires de l'Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège.
Annuaires de la Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers.
Bulletins de la Société d'Encouragement.
Bulletins de la Société des Ingénieurs civils de Londres, années 1847 à 1861.
Bulletins de l'institution *of Mechanical Engineers*.
Bulletins de la Société industrielle de Mulhouse.
Bulletins de la classe d'industrie et de commerce de la Société des arts de Genève.
Bulletins de la Presse scientifique des Deux-Mondes.
Bulletins de la Société industrielle d'Amiens.
Bulletin du comité des forges.
Bulletins de la Société vaudoise.
Bulletins des Ingénieurs suédois.
Bulletins de la Société minérale de Saint-Étienne.
Bulletins de la Société des architectes et ingénieurs du royaume de Hanovre.
Bulletins de la Société impériale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.
Bulletin de la Société de géographie.
Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture.
Collection de dessins distribués aux élèves de l'École des ponts et chaussées.
Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences.
Cosmos (Le).
Éclairage au gaz (Journal de l').
Génie industriel, par MM. Armengaud.
Journal *la Célébrité*.
Journal des chemins de fer.
Journal des Mines.
Journal *l'Invention*, par M. Desnos.
Journal *le Moniteur universel*.
Monitor cientifico-industrial di Barcelona.
L'Isthme de Suez (Journal).
Les Mondes, Revue hebdomadaire des sciences, par M. l'abbé Moigno.
Mémoires de la Société d'agriculture de l'Aube.
Organ furdic Fortschritte dis Tisenbahuwesens.
Portefeuille John Cockerill.
Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines.
Portefeuille économique des Machines, par M. Opparmonn.
Portefeuille de l'Ingénieur des chemins de fer, par MM. Perdonnet et Polonceau.
Propagation industrielle (la).
Publications administratives, par M. Louis Lazare.
Report of the commissioner of patents des années 1859, 1860, 1861 et 1862.
Revue d'Architecture, par M. César Daly.
Revue industrielle des Mines et de la métallurgie.
Revue des Deux-Mondes.
Revue contemporaine.

Revue périodique de la Société des Ingénieurs autrichiens.
Semaine financière (Journal la).
Science pittoresque (la).
The Engineer (Journal).
Train (le) indicateur des chemins de fer.

Physique Industrielle.

Air comprimé (Notice sur l'emploi de l'), par M. Gaugain.
Appareils de chauffage, par M. J.-B. Martin.
Appareils d'éclairage (Album des), de M. Masson.
Appareils fumivores, par M. Marion Fauvel.
Assainissement de la savonnerie Ariot, par M. Félix Foucou.
Calorifère à eau chaude et à petits tuyaux, par MM. Gallibour et Gaudillot.
Calorique latent (Procédé élémentaire), par M. Jullien.
Combustion de la fumée, par M. Petitpierre Pellion.
Combustion du charbon (Considérations chimiques et pratiques), par M. Williams.
Écoulement des gaz en longues conduites (Compte rendu d'expériences sur l'), par M. Arson.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. Fernandez de Castro.
Électricité et les chemins de fer (L'), par M. E. With.
Électro-magnétisme appliqué aux chemins de fer, par M. Prouteaux.
Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière et l'électricité, par M. Love.
Étude sur les combustibles employés en industrie, et de la tourbe, par M. Challeton.
Études sur les corps à l'état sphéroïdal, par M. Boutigny.
Force motrice produite par la dilatation de l'air et des gaz permanents, par M. Montravel.
Fourneaux fumivores. Historique; état actuel de la question, par M. Wolski.
Foyer fumivore de M. de Fontenay.
Foyer fumivore de M. Tenbrinck.
Gyroscope de M. Foucault (Théorie du), par M. Yvon Villarceau.
Microscope (Construction et emploi du), par M. Ch. Chevalier.
Photographe (Guide du), par M. Ch. Chevalier.
Photographiques (Appareils), par M. Ch. Brooke.
Propagation de l'électricité (Note sur la), par M. Blavier.
Science populaire, par M. Bambosson.
Sciences physiques (Éléments des) appliquées à l'agriculture, par M. Pouqueau.
Télégraphe électrique, par M. Victor Bois.
Télégraphe électrique, par M. Miége.
Télégraphe (Ligne de), par M. Verord.
Télégraphie électrique (Nouveau Traité de), par M. E. Lacroix.
Télégraphique continentale (Projet d'une ligne) entre l'Europe et l'Asie, par M. Jousselin.
Transports pneumatiques, par M. Léon Malo.
Usines à gaz de Londres, par M. Jordan.
Ventilation (Étude sur la), par M. le général Morin.

Recueil de Formules.

Aide-Mémoire des ingénieurs, par M. T. Richard.
Carnet à l'usage des agriculteurs, par M. Ganneron.
Formulaire de l'ingénieur, par M. Armengaud jeune.
Formules ordinaires employées pour calculer la résistance des ponts métallurgiques.
Guide pratique des Alliages métalliques, par M. Guettier.
Instructions pratiques à l'usage des Ingénieurs, par M. Armengaud aîné.
L'ingénieur de poche, par MM. J. Armengaud et E. Barrault.
Manuel calculateur du poids des métaux, par Van Alphen.
Manuel du conducteur et de l'agent voyer, par M. Vauthier.
Manuel aide-mémoire du constructeur de travaux publics et de machines, par M. Émile With.
Mesures anglaises et mesures françaises, par M. Camille Tronquoy.
Règle à calcul (Notice sur l'emploi de la), par M. P. Guiraudet.
Tableaux sur les questions d'intérêts et d'assurances, par M. Eugène Péreire.
Tables logarithmiques pour le calcul de l'intérêt composé des annuités et des amortissements, par M. Eugène Péreire.
Table de Pythagore de 1 à 1,000,000, par M. Griveau.
Tables des coefficients, par M. Lefrançois.
Tableaux destinés à remplacer, sous un très-petit volume, la plupart des tables numériques, par M. Bouché.
Tachéomètre (Notice sur un), par M. Deniel.
Taux légal de l'intérêt, par M. Félix Tourneux.

Statistique et Législation.

Administration de la France, ou Essai sur les abus de la centralisation, par M. Béchard.
Brevets d'invention (Observations sur le nouveau projet de loi), par M. Normand.
Brevets d'invention, dessins et marques de fabrique (Études sur les lois actuelles), par M. Damourette.
Brevets d'invention en France et à l'étranger (Note sur les), par M. Émile Barrault.
Brevets d'invention et les marques de fabrique (Précis des législations française et étrangères sur les), par MM. Gardissal et Desnos.
Caisse de retraite et de secours pour les ouvriers (chemins de fer belges).
Code des chemins de fer, par M. Cerclet.
Colonies agricoles (Études sur les), mendiants, jeunes détenus, orphelins et enfants trouvés (Hollande, Suisse, Belgique et France), par MM. de Lurieu et Romand.
Communications postales entre la France et l'Angleterre.
Comptes rendus des travaux du Comité de l'Union des constructeurs.
Consultation sur le projet de la loi de police de roulage.
Crédit foncier et agricole dans les divers États de l'Europe, par M. Josseau.
Crédit foncier en Allemagne et en Belgique, par M. Royer.
Documents sur le commerce extérieur (douanes) (incomplets).

Douanes. Tableau général des mouvements du cabotage en 1847, et du commerce de la France avec les colonies et les puissances étrangères.

Droit des inventeurs, par M. E. Barrault.

École centrale d'architecture, par M. Emile Trélat.

École des Mines de Paris, histoire, organisation, enseignement, élèves-ingénieurs et élèves externes, par M. Grateau.

Essai sur la réforme de l'éducation et de l'instruction publique, par M. Gardissal.

Étude sur le Cadastre des terres, sur les Hypothèques et l'Enregistrement des actes publics et sur la Péréquation de l'impôt foncier. — Projet de loi sur un dépôt général de la foi publique, par MM. de Roberniers, Ignace et Félix Porro.

Étude sur l'instruction industrielle, par M. Guettier.

Législation des machines à vapeur, par M. V. Vidal.

Loi des États-Unis sur les Inventions, par E. Emile Barrault.

Organisation de l'industrie. Projet des Sociétés de papeterie en France, par MM. Ch. Callon et Laurens.

Organisation de l'École Polytechnique et pour les ponts et chaussées, par M. Vallée.

Organisation de la propriété intellectuelle, par M. Jobart.

Observation sur l'organisation de l'administration des travaux publics, par la Société des Ingénieurs civils.

Observation sur le recrutement du corps des Ponts et Chaussées, par la Société des Ingénieurs civils.

Procès-verbaux des conseils généraux de l'agriculture et du commerce.

Projet de loi sur la police du roulage, par M. Bineau.

Projet de loi sur les brevets.

Rapport sur les patentes des États-Unis, par le major Poussin.

Rapport sur la loi organique de l'enseignement.

Réduction du tarif des voyageurs des chemins de fer, par M. Vériot.

Situation des lignes télégraphiques belges en 1859, 1860 et 1861, par M. Vinchen.

Statistique de la France, par M. le Ministre du commerce.

Statistique industrielle, publiée par la Chambre de commerce de Paris.

Tableaux statistiques des chemins de fer de l'Allemagne, de la Suisse, de la France, de la Belgique, des Pays-Bas et de la Russie, en exploitation pendant l'exercice 1862, par M. Hauchecorne.

Tablettes de l'inventeur et du breveté, par M. Ch. Thirion.

Technologie.

Alliage des métaux industriels (Recherches pratiques), par M. Guettier.

Catalogue des collections du Conservatoire des Arts et Métiers.

Céramique (Leçons de), par M. Salvetat.

Céramiques (Rapport sur les arts) fait à la Commission française du jury international de l'Exposition de Londres, par MM. Ebelmen et Salvetat.

Conseiller du débitant, par M. du Liége.

Décoration et Fabrication de la porcelaine en Chine (Rapport sur la composition des matières employées dans la), par MM. Ebelmen et Salvetat.

Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. Salvetat.

Dictionnaire technologique français, anglais et allemand, par M. Gardissal.

Éléments théoriques et pratiques de la filature du lin et du chanvre, par M. Choimet.
Gréement, par M. Bréart.
Guide pratique de la meunerie et de la boulangerie, par M. Marmay.
Guide du bijoutier, par M. Moreau.
La science populaire, par M. Rambosson.
Matières textiles, par M. Alcan.
Note sur les fraudes dans la vente du sel, par M. Daguin.
Nouveau Cosmos, par M. Dubois.
Nouvelles inventions aux Expositions universelles, par M. Jobard.
Rapport du jury central sur les produits de l'industrie française.
Rapport des experts dans l'affaire Guebhard et Schneider, par MM. Faure, Boutmy et Flachat.
Rapport sur la peigneuse mécanique de M. Josué Heilman, par M. Alcan.
Rapport du Jury international de 1855.
Rapport sur l'Exposition universelle de 1855, relatif aux exposants de la Seine-Inférieure, par M. Burel.
Rapport ou compte rendu de l'Exposition de Londres de 1851, par M. Lorentz.
Rapport de 1854. Patent office.
Traité pratique de la boulangerie, par M. Roland.
Travaux de la Commission française sur l'industrie des Nations (Exposition universelle de 1855).

Travaux publics.

Cathédrale de Bayeux, reprise en sous-œuvre de la tour centrale, par MM. de Dion et Lasvignes.
Construction (Cours de), par M. Demanet.
Construction du Palais de l'Industrie, par MM. A. Barrault et Bridel.
Construction de la toiture d'un atelier, par M. Prisse.
Constructions économiques et hygiéniques, par M. Lagout.
Description des appareils employés dans les phares, par M. Luccio del Valle.
Docks à Bordeaux, par M. Maldant.
Docks à Marseille (Projet de), par M. Flachat.
Docks-entrepôts de la Villette, par M. E. Vuigner.
Digues monolithes en béton aggloméré, par M. François Coignet.
Embellissement de la ville de Bordeaux, par M. Léon Malo.
Enseignement des beaux-arts, par M. E. Trélat.
Études architecturales à Londres, en 1862, par M. Émile Trélat.
Examen de quelques questions de travaux publics, par M. Henri Fournel.
Exposition universelle de 1867 (Avant-projet relatif à l'), par M. A. Barrault.
L'Opéra et le théâtre de la Seine, par M. Barthélémy.
Mémoire de la Chambre de commerce de Lorient, par M. Jullien.
Modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux publics qui figuraient à l'Exposition universelle de Londres en 1862.
Notice sur Saint-Nazaire, par M. G. Love.
Notice sur les travaux et les dépenses du chemin de fer de l'Ouest, exécutés par l'État, par M. A. Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Palais permanent pour l'Exposition universelle de 1867 (Note sur un), par M. Baudemoulin.
Reconstruction de l'Hôtel-Dieu (Critique sur la), par M. Ulysse Trélat.
Vade-mecum administratif de l'Entrepreneur des ponts et chaussées, par M. Endrès.

DISTRIBUTION D'EAU.

Assainissement de Paris, par M. Baudemoulin.
Alimentation en eau de Seine de la ville de Paris, par M. Aristide Dumont.
Alimentation des eaux de Paris, par M. Edmond Roy.
Dérivation de la Somme, Soude et du Morin, par M. Dugué.
Distributions d'eau, par M. Aristide Dumont.
Documents sur les eaux de Paris.
Eaux de Seine de Saint-Cloud, amenées directement au château, par M. Armengaud aîné.
Eaux de Paris (Les), par MM. Sébillot et Mauguin.
Eaux de Paris (Notice sur les), par M. Ch. Laurent.
Eaux de la ville de Liége (Rapport sur les), par M. G. Dumont, ingénieur des mines.
Égouts. Construction sous le rapport de la salubrité publique, par Vereluys.
Inondations souterraines de la ville de Paris, par Vaunier.
Inondation souterraine (Rapport sur l') qui s'est produite dans les quartiers nord de Paris, par MM. Delesse, Beaulieu et Yvert.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

Album des types des fers Zores.
Album des fers spéciaux de la Société des hauts fourneaux et laminoirs de Martigny-sur-Sambre.
Album des fers spéciaux fabriqués par la Société de Couillet.
Art du briquetier (L'), par M. Challeton.
Asphalte, son origine, sa préparation et ses applications, par M. Malo.
Bétons agglomérés, par M. François Coignet.
Bétons moulés et comprimés, par M. François Coignet.
Bétons agglomérés (Rapport sur l'emploi, à la mer et sur terre, des) à base de chaux, par M. François Coignet.
Dimensions et poids des fers spéciaux du commerce, par M. Camille Tronquoy.
Matériaux de construction de l'Exposition universelle (Rapport sur les), par M. Delesse.
Mortiers (Traité sur l'art de faire de bons), par M. Rancourt.
Pierre asphaltique du Val-de-Travers, par M. Henri Fournel.

OUTILLAGE.

Appareil de plongeur, le Scaphandre, par M. Cabirol.
Appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemins de fer, par M. Castor.
Brouette (Notice sur la), par M. Andraud.
Recueil de machines à draguer et appareils élévatoires, par M. Castor.
Scie à recéper sous l'eau (Notice sur la construction d'une), par M. Ganneron.

PONTS, VIADUCS ET SOUTERRAINS.

Application de la tôle à la construction des ponts de chemins de fer de ceinture, par M. Brame.
Arches de pont envisagées au point de vue de la plus grande stabilité, par M. Yvon-Villarceau.
Calculs des arcs métalliques dans les cas de grandes surcharges, par M. Albaret.
Calcul des arcs métalliques, par M. Albaret.
Chute des ponts (De la), par M. Minard.
Construction des tunnels de Saint-Cloud et de Montretout (Notice sur la), par M. Toni Fontenay.
Construction des planchers et poutres en fer, par M. G. Joly.
Construction des viaducs, ponts-aqueducs, ponts et ponceaux en maçonnerie, par M. Toni Fontenay.
Construction des ponts et viaducs en maçonnerie, par M. Edmond Roy.
Emploi pratique et raisonné de la fonte de fer dans les constructions, par M. Guettier.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, système Oudry et Cadiat.
Emploi de la tôle, du fer forgé et de la fonte dans les ponts, par M. Cadiat.
Emploi de l'air comprimé au fonçage des piles et culées du pont de Kehl sur le Rhin, par M. Maréchal.
Équilibre des voûtes (Examen théorique et critique des principales théories sur l'), par M. Poncelet.
Étude comparative de divers systèmes de ponts en fer, par M. Jules Godard.
Formules nouvelles pour calculer l'épaisseur de la culée dans les voûtes à plein-cintre, anse de panier et arcs de cercle, par M. Marguet.
Mémoire de M. Fortin-Hermann sur les fondations tubulaires.
Passerelles sur les grandes voies publiques de la ville de Paris, par M. Hérard.
Piles en charpente métallique des grands viaducs, par M. Nordling.
Ponts avec poutres tubulaires en tôle (Notice sur les), par M. L. Yvert.
Ponts suspendus, ponts en pierre, en bois, en métal, etc., par M. Boudsot.
Ponts biais en fonte de Villeneuve-Saint-George, par M. Jules Poirée.
Ponts métalliques (Traité théorique et pratique de la construction des), par MM. Molinos et Pronnier.
Ponts suspendus (Mémoire sur les), par M. Brissaud.
Ponts suspendus avec câbles en rubans de fer laminé, par MM. Flachat et Petiet.
Pont du Rhin à Kehl, par M. E. Vuigner.
Pont de Castelfranc, système Cadiat et Oudry (Notice sur le).
Poutre à treillis (Étude sur la détermination du rapport existant entre les sections dangereuses des semelles et des barres inclinées à 45 degrés d'une), par M. Prou.
Rapport sur les ponts suspendus, sur la force et la meilleure forme des poutres de fer fondu, par M. Hodgkinson.
Rapport sur le pont de Cubzac, par M. Gayrard.
Recherches sur les dispositions à adopter dans l'établissement des ponts suspendus, par M. Brissaud.
Stabilité des ouvrages d'art, destinés à porter de grands remblais, par M. Bernard.
Théorie élémentaire sur la construction des ponts, par M. Ritter.

Théorie pratique et architecture des ponts, par M. Brunell.
Traversée des Alpes, percement du Mont-Cenis, par M. Sommeiller.
Viaduc de Busseau-d'Ahun (Photographies du) par M. Nordling.

PORTS MARITIMES. CANAUX.

Canal Cavour. Halian, irrigation, Canal Company.
Canal du Berry (Rapport sur le), par M. Petiet.
Canal de Suez (Question du tracé du), par MM. Alexis et Émile Barrault.
Canalisation des fleuves et rivières, par M. Henri Filleau de Saint-Hilaire.
Canal maritime de Dieppe à Paris, par MM. Aristide Dumont et Louis Richard.
Chemins de halage et berges des canaux d'Angleterre et d'Écosse, par M. E. Vuigner.
Études sur les isthmes de Suez et de Panama, par M. F.-N. Mellet.
Études sur la navigation, par M. Bounican.
Il canal attraverso l'isthio di Suez, par M. Kramer.
Organisation légale des cours d'eau, par M. Dumont.
Percement de l'Isthme de Suez, par M. Ferdinand de Lesseps.
Percement de l'Isthme de Suez, par M. Frédéric Coninck.
Percement de l'Isthme de Panama par le canal de Nicaragua (Exposé de la question du), par MM. Félix Belly et Thomé de Gamond.
Projet d'un port de refuge dans la Seine, par M. Burel.
Projet d'un canal maritime entre Paris et la mer, par MM. A. Dumont Richard.
Projet du port Saint-Nazaire (Notice sur le), par M. G. Love.
Procédés employés pour racheter les chutes sur les canaux de navigation, naturels ou artificiels, par M. E. Vuigner.
Rapport sur les portes en fonte de fer, établies au canal Saint-Denis, par M. Vuigner.
Suppression du canal Saint-Martin, et de l'établissement des entrepôts libres, par M. Marie.
Tarif du canal du Rhône au Rhin, par M. Petiet.
Traction des bateaux sur les canaux, par M. Bouquié.
Traction des bateaux, fondée sur le principe de l'adhérence, par M. Beau de Rochas.
Travaux hydrauliques maritimes, par MM. Latour et Gossenet.
Travaux hydrauliques de la France et de l'étranger, par M. Brocchieri.
Travaux exécutés pour améliorer le régime des eaux sur les rivières et le canal de l'Ourcq, par M. E. Vuigner.
Traité de la perception des droits de navigation et de péage, par M. Granger.
Tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France (Avant-projet d'un), par M. Thomé de Gamond.
Turin port de mer, par M. Capuccio.
Voies navigables en Belgique, par M. Vilquain.

RÉSISTANCES DES MATÉRIAUX.

Études sur la résistance des poutres en fonte, par M. Guettier.
Expériences des piliers en fonte, par M. Hodgkinson.

Mémoire sur la force des matériaux, par M. Hodgkinson.
Prescriptions administratives réglant l'emploi des métaux dans les appareils et constructions intéressant la sécurité publique, par M. Love.
Recherches expérimentales sur la forme des piliers de fer fondu et autres matériaux, par M. Hodgkinson.
Résistance de la fonte de fer par la compression, par M. Damourette.
Résistance de la fonte, du fer et de l'acier, et de l'emploi de ces métaux dans les constructions, par M. Love.
Résistance des matériaux, par M. le général Morin.
Sur la loi de résistance des conduites intérieures à fumée dans les chaudières à vapeur, par M. Love.
Théorie de la résistance et de la flexion plane des solides, par M. Bélanger.

ROUTES.

Assainissement et consolidation des talus, par M. Bruère.
Chemins vicinaux, par M. M. Volland.
Constructions des formules de transport pour l'exécution des terrassements, par M. Dinan.
Pavage et macadamisage (Rapport sur le), par M. Darcy.
Table donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux et routes, par M. Hugues.

Sondages. — Puits Artésiens.

Guide du sondeur, avec atlas, par M. Degousée.
Puits artésiens du Sahara oriental, par M. Ch. Laurent.
Sahara oriental au point de vue de l'établissement des puits artésiens dans l'Oued-Souf, l'Oued-Rir et les Zibans, par M. Ch. Laurent.
Sondage à la corde (Notice), par M. le Chatelier.
Sondage à la corde (Notice), par M. Ch. Laurent.
Sondes d'exploration (Description et manœuvre des), par M. Ch. Laurent.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Alimenteur régulateur automoteur de MM. Valant frères et Ternois, par MM. Jousselin et Tronquoy (séance du 1er décembre). 436

Appareil fumivore, système Palazot, par M. Malo, (séances des 19 mai, 2 et 16 juin). . . . . 177, 186 et 204

Appareils employés au soulèvement des fardeaux, par M. Maldent (séance du 1er septembre). 309

Bateaux transatlantiques *le Lafayette* et *le Washington* (Note sur les), par M. Gaudry (Jules) (séances des 6 et 20 janvier). . . . . 44, 45 et 107

Buanderies et établissements de bains publics, par M. Muller (Émile) (séance du 16 juin).. 204

Canal maritime de Suez, questions posées par les délégués du commerce (séance du 19 mai) 173

Carton durci (Nouvelles applications du), par M. Clémendot (séance du 17 mars). 84

Catalogue des ouvrages composant la bibliothèque. 558

Charpente suspendue (Mémoire sur les systèmes de), par MM. Lehaître et de Mondésir (séances des 7 avril, 5 et 19 mai). . . . . 144, 165, 173 et 251

Chaudière de M. Field, par M. Rouyer (séance du 1er décembre). 434

Concours pour la rédaction d'un projet d'amélioration et d'agrandissement du port de la ville d'Odessa (séance du 18 août) 288

Conservation des grains, par M. Delonchant (séance du 21 avril) 162

Décès de MM. Bousson, Bordet, Guérin, Bournique, Richoux, Jacquesson, Vuigner (Émile), Barrault (Alexis), Bourdon (François), Valério et Baret, séances des 3 février, 1er et 15 septembre, 6 et 20 octobre, 17 novembre, 1er et 15 décembre. . . . . 61, 298, 303, 407, 416, 423, 434 et 440

Décorations : MM. Beugniot, Moreaux et Simonin, chevaliers de l'Ordre royal des saints Maurice et Lazare (séances des 6 janvier, 1er et 15 septembre) . . . . . 45, 298 et 303

M. Desgrange, commandeur de l'ordre civil de Saint-Grégoire-le-Grand (séance du 15 septembre). 303

M. Weil, chevalier de l'ordre d'Isabelle-la-Catholique (séance du 20 janvier). 45

MM. Gaudet, Petin et Tresca, officiers de la Légion d'honneur (séances des 18 août et 20 octobre). . . . . 286 et 416

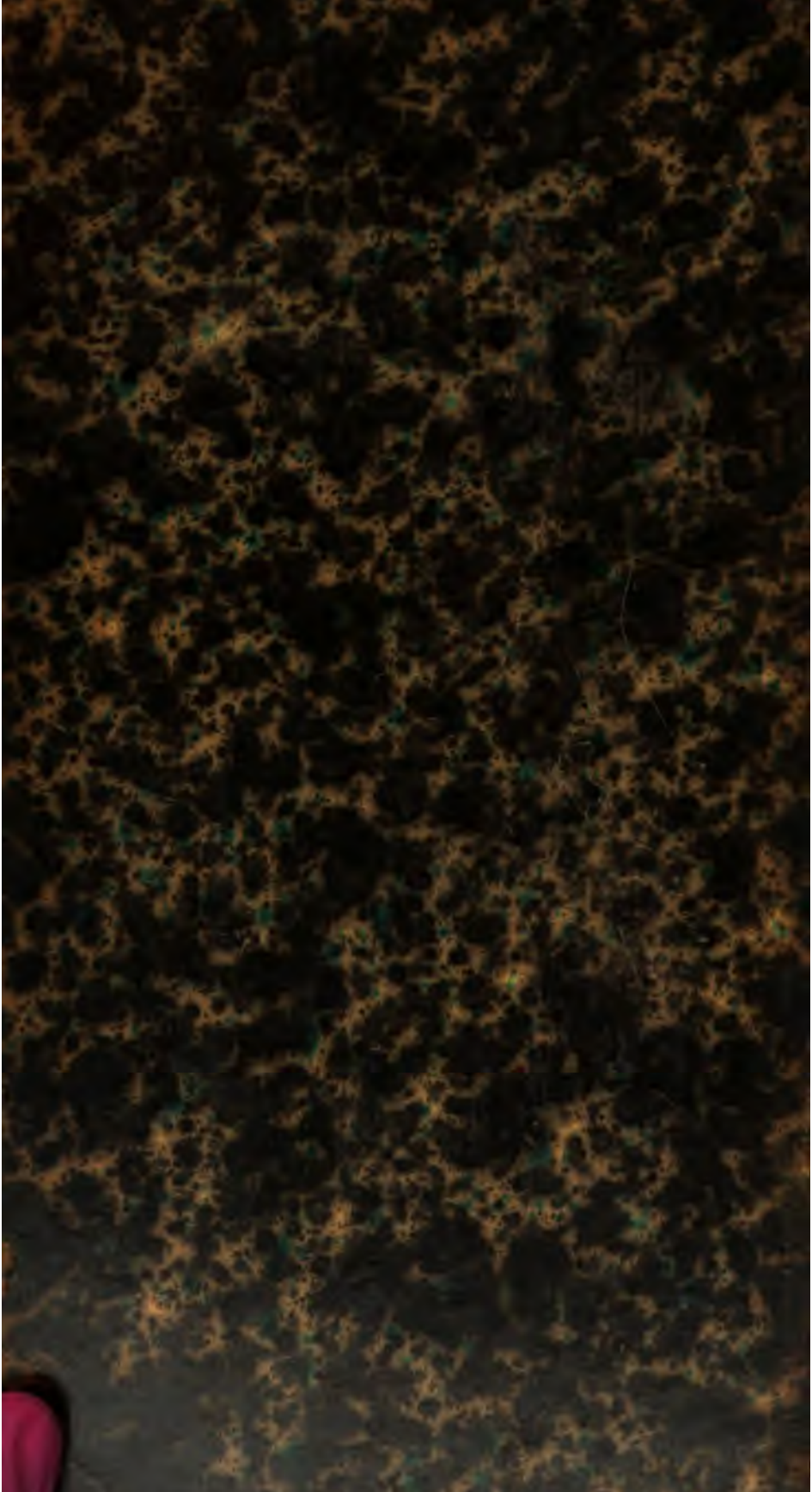
MM. Bois, Jolly, Marès, Mathieu (Henri), chevaliers de la Légion d'honneur, (séance du 18 août). 287

Échappement des locomotives, par M. Goschler (séances des 20 janvier, 3 et 17 février). . . . . 54, 57 et 70

Pages.

Écoulement des corps solides, par M. L. Tresca (séance du 17 novembre) . . 427
École centrale d'architecture, par M. Trélat (séance du 16 juin). 202
Égout collecteur, lettre de M. Rey et projet de M. A. Cavé (séances des 18 août, 17 novembre et 1er décembre). . . . . 291, 423 et 432
Élections des membres du bureau et du comité (séance du 15 décembre). . 440
Engrais humain, par M. Lucien Renard (séance du 1er décembre). 432
Enrichissement des minerais, analyse du mémoire de MM. Huet et Geyler, par M. Goschler (séance du 1er décembre). . . . . 88 et 437
Enseignement professionnel (Note sur l'), par M. Benoît Duportail (séance du 17 février). . . . . 70 et 124
Enseignement professionnel de la mécanique au moyen de machines fonctionnant devant les élèves, par M. Dubied (séance du 7 avril) 151
Espagne industrielle (Note sur l'), par M. de Mazade (séance du 1er septembre). . . . . 206 et 304
Entretien et exploitation des chemins de fer (Analyse de l'ouvrage de M. Goschler sur l'), par M. G. Love (séance du 21 avril). 155
Excursion dans le Limousin (Rapport sur une), par M. Salvetat. 512
Exploitation du Semmering (Note sur l'), par M. Desgrange (séance du 21 avril) 154 et 244
Exposition universelle de 1867 (séance du 18 août) 287
Frein Castelvi, par M. Marché (séances des 20 janvier et 3 février) . . 48 et 62
Géographie des anciens peuples (Recherches sur la) comparée à la forme actuelle des bassins modernes pour servir à l'étude des cours d'eaux souterrains, par M. Ch. Laurent (séance du 21 avril). . . . . 161 et 226
Gisement de Pétrole dans les Karpathes, par M. Foucou (séances des 15 septembre, 20 octobre et 17 novembre) . . . . . 303, 317, 416 et 425
Goniomètre de Babinet (Note sur l'emploi du), par A. Piquet. 557
Grues roulantes pour les pierres appliquées au chemin de fer du Nord, par M. Alquié (séance du 1er décembre). 437
Guide du constructeur et conducteur de machines locomotives (Supplément au) (séance du 18 août). 292
Installation des nouveaux membres du Bureau et du Comité. 28
Lavoir à charbon de MM. A. Detombay et Scheuren (Note sur le), par MM. Huet et Geyler. 326
Liste générale des sociétaires. 7
Locomotive électro-magnétique (Note sur la) de MM. Bellet et de Rouvre (séances des 2 juin, 21 juillet, 15 septembre, 6 et 20 octobre) 190, 283, 303, 376, 414 et 417
Locomotive électrique de MM. Bellet et de Rouvre (Note sur la), par M. Royer. 376
Machines électro-magnétique de MM. Bellet et de Rouvre (Observations sur la Note de M. Rouyer, relative à la), par M. de Bruignac. 391
Métaux, nouveaux procédés pour revêtir les métaux d'une couche adhérente, cohérente et brillante d'autres métaux, par M. Weil (séance du 3 mars) . . 75
Mont-Cenis, avancement des travaux, par M. E. Flachat (séance du 21 avril). 153
Mont-Cenis, chemin de fer expérimental de M. Fell, par M. Desbrière (séances des 6 octobre et 17 novembre). . . . . 408 et 426
Notice sur François Bourdon, par MM. Eug. Flachat et G. Boutmy. 520

Pages.

Notice sur Emile Vuigner, par M. A. Perdonnet. 530
Ouvrage d'art d'un nouveau type, par M. Flavien (séance du 1er décembre). . 433
Planchette photographique, par M. Tronquoy (séances des 18 août et 1er septembre). . . . . 296 et 299
Ponts métalliques, par M. Desmousseaux de Givré (séances des 20 janvier et 17 février) . . . . . 52 et 69
Préparation mécanique des minerais. Note sur l'outillage nouveau et les modifications apportées dans les procédés d'enrichissement des minerais, par MM. Huet et Geyler. 88
Prix fondé par M. Perdonnet pour des expériences à faire sur les chemins de fer (séance du 3 février). 59
Prix fondé par 25 sociétaires pour offrir une médaille au meilleur travail présenté dans le courant de cette année (séances des 3 février et 3 mars). 68 et 74
Production artificielle du froid par les appareils Carré, par M. Rouart (séance du 3 novembre. 420
Puddleur mécanique de M. Lemut, par M. Gaudry (séance du 15 septembre). 305
Raccordement rationnel (Note sur un) des voies courbes avec les voies droites, par M. Chavès (séances des 18 août, 1er septembre et 6 octobre) 293, 298, 339 et 407
Résumé du 1er trimestre 1865. 1
Résumé du 2e trimestre 1865. 137
Résumé du 3e trimestre 1865. 269
Résumé du 4e trimestre 1865. 401
Situation financière de la Société (séances des 16 juin et 15 décembre). 203 et 439
Table des matières. 553
Terrains mouvants, par M. l'abbé Paramelle (séance du 2 juin). 188
Théorie de la constitution des fontes, fers et aciers, par M. Jullien (séances des 3 et 17 mars, 7 avril, 19 mai, 7 et 21 juillet, 18 août et 1er septembre. . . . . 78, 85, 148, 182, 275, 280, 290 et 296
Traversée du mont Cenis, rapport du capitaine Tyler. 444
Traversée du Mont-Cenis (Étude sur la locomotion au moyen du rail central pour la), par M. Desbrière. 457
Utilisation des scories dans les hauts fourneaux, par MM. Minary et Soudry (séances des 3 et 17 mars, et 20 octobre). . . . . 79, 80 et 446

PARIS. — IMPRIMERIE P.-A. BOURDIER ET Cie, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.